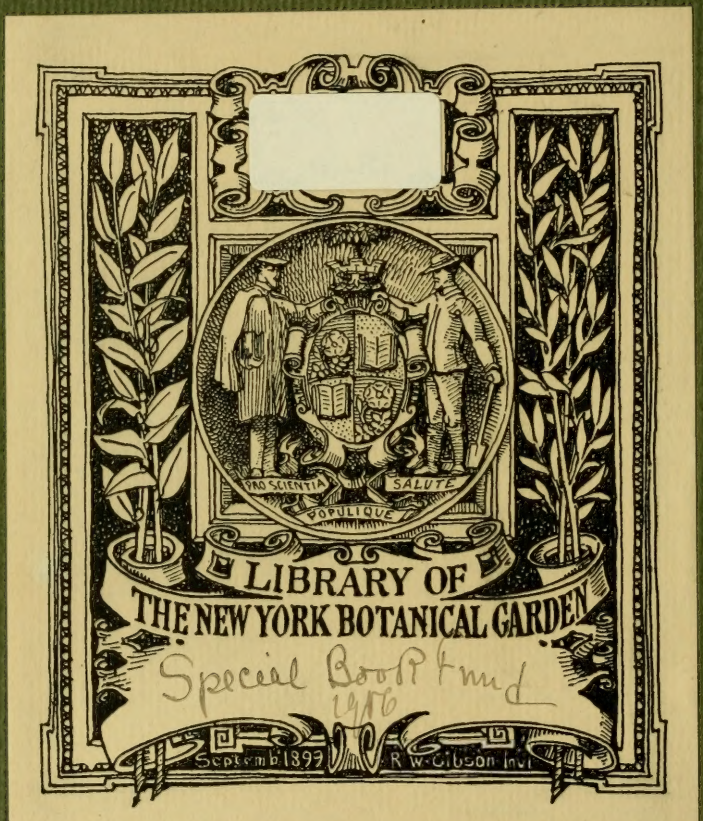

PRO SCIENTIA
SALUTE
POPULIQUE
LIBRARY OF
THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN
Septemb 1899
R W Gibson Inv

Untersuchungen

über die

Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen

von

Prof. Dr. A. Wieler

Nebst einem Anhange:

Oster, Exkursion in den Stadtwald von Eschweiler zur Besichtigung der Hüttenrauchbeschädigungen am 5. September 1887

Mit 19 Abbildungen im Text und 1 Tafel

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

Berlin

Verlag von Gebrüder Borntraeger

SW 11 Dessauer Strasse 29

1905

SB745
.W542
1905

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Druck von E. Buchbinder in Neu-Ruppin.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

Vorwort.

Der Wunsch interessierter Kreise, die Brauchbarkeit der Hartig'schen Reaktion der Fichte auf die schweflige Säure in einem bestimmten Rauchschadengebiet zu erproben, wurde die Veranlassung, daß ich mich eingehender mit der Einwirkung saurer Gase auf die Pflanzen beschäftigt habe. Bei der Nachuntersuchung stellte sich heraus, daß die Hartig'sche Reaktion eine unberechtigte Verallgemeinerung einzelner Funde war, daß eine mikroskopisch wahrnehmbare Affektion der Nadeln erst auftritt, wenn äußerlich sichtbare Anzeichen einer Beschädigung vorhanden sind. Damit fiel auch die von Hartig auf seine Versuchsergebnisse aufgebaute Theorie zur Erklärung der Wirkungsweise saurer Gase. Die an seine Untersuchung geknüpften großen Erwartungen, im guten wie im schlechten Sinne, ein einfaches Erkennungsmittel für Rauchbeschädigungen zu besitzen, wurden bitter getäuscht. Mir aber zeigte die Nachprüfung dieser Untersuchung zu meiner großen Überraschung, daß es noch durchaus an einer sicheren Grundlage zur Beurteilung von Rauchbeschädigungen fehlte, da die einschlägige Literatur keinen befriedigenden Aufschluß darüber gab, wie die sauren Gase, welche aus den Kohlenfeuerungen und bei den verschiedenartigsten industriellen Betrieben in die Luft gelangen, auf die Pflanzen einwirken. Da sich bei uns in Deutschland die Industrie beständig ausbreitet und die großen Städte unausgesetzt an Zahl wachsen, ist die Ausbreitung der durch saure Gase hervorgerufenen Beschädigungen der Vegetation für die Zukunft in steigendem Maße zu erwarten. Es schien mir deshalb von Bedeutung zu sein, mir auch nach der wissenschaftlichen Seite hin eine Ausbeute zu versprechen, die Einwirkung der sauren Gase auf die verschiedenen Funktionen des pflanzlichen Organismus zu studieren. Mehrere Jahre habe ich mich diesen Untersuchungen gewidmet und bin zugleich bestrebt gewesen, die Erscheinungen in den Rauchschadengebieten mit den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen in Einklang zu bringen. Meine Bemühungen wurden durch den Umstand begünstigt, daß in nächster Nähe von Aachen bei der industriereichen Stadt Stolberg ein sehr instruktives Rauchschadengebiet vorhanden ist, das ein-

FEB 10 1906

gehend zu studieren, mir namentlich durch das Entgegenkommen des Eschweilerer Bergwerks-Vereins möglich war. So war ich in der angenehmen Lage, daß die Beobachtungen im Freien immer wieder befruchtend auf die experimentelle Untersuchung zurückwirkten.

Am eingehendsten habe ich mich bisher mit der Einwirkung der schwefligen Säure auf die Vegetation beschäftigt, weil ihr von allen sauren Gasen praktisch die größte Bedeutung beizumessen ist, denn sie entweicht nicht nur bei bestimmten industriellen Betrieben, sondern gelangt auch dauernd mit den Verbrennungsgasen der Kohlen in die Luft. Die Ergebnisse meiner Untersuchungen über die Einwirkung der schwefligen Säure übergebe ich im nachstehenden den Fachgenossen und den interessierten Kreisen der Praxis. Wenn es mir auch noch nicht gelungen ist, alle Punkte befriedigend aufzuhellen, so glaube ich doch, daß die nachstehende Arbeit manche unrichtige Vorstellung berichtigt und unsere Kenntnis von der Wirkungsweise der sauren Gase wesentlich erweitert. Dem Botaniker wird vielleicht die Behandlung einzelner Punkte überflüssig und die Behandlung anderer als zu breit erscheinen, ich bitte dann zu berücksichtigen, daß diese Veröffentlichung nicht nur für den Fachmann bestimmt ist, sondern sich auch an alle die Kreise wendet, welche an diesem Kapitel ein besonderes Interesse namentlich aus praktischen Gründen nehmen, und daß sich allerlei irrtümliche Ansichten und vorgefaßte Meinungen eingeschlichen haben, welche endgültig widerlegt werden mußten.

Die experimentellen Untersuchungen sind zum Teil sehr langwierig und ermüdend gewesen, und ich hätte sie nicht ausführen können, hätte ich mich nicht nacheinander der schätzenswerten Unterstützung der Herren Doktoren Hartleb, Wächter, Grünewald und Kaphahn erfreuen dürfen, denen ich für ihre aufopfernde Tätigkeit meinen herzlichsten Dank sage. Die Durchführung der Untersuchungen ist aber erst dadurch ermöglicht worden, daß mir von verschiedenen Seiten bereitwilligst die erforderlichen Mittel zur Verfügung gestellt worden sind. Hier gilt mein Dank dem Eschweilerer Bergwerks-Verein zu Eschweiler Pumpe, dem Syndikat deutscher Sodafabriken, dem Ministerium für Handel und Gewerbe und dem Ministerium für Landwirtschaft, Domänen und Forsten. Diesen Mitteln habe ich es auch zu danken gehabt, daß es mir vergönnt war, verschiedene Rauchschadengebiete durch den Augenschein kennen zu lernen, während mir ein längerer Aufenthalt im Okertal im Harz zu Studienzwecken durch eine Unterstützung des Ministeriums der geistlichen, Unterrichts und Medizinalangelegenheiten ermöglicht wurde. Auch sonst sind meine Bestrebungen durch Übersendung von Material und wertvollen Mitteilungen von den verschiedensten Seiten unterstützt worden, wofür ich nicht minder dankbar bin. Ganz besonders fühle ich mich aber Herrn Oberförster

Oster in Aachen für die mannigfache Anregung, welche ich von ihm empfangen habe, und für mancherlei Belehrung auf forstlichem Gebiete zu Dank verpflichtet.

Da eine Reihe von Kontroversen an die Beobachtungen des Herrn Oberförsters Oster im Stolberger Rauchschadengebiet anknüpfen, welche 1887 in einer kleinen, nicht im Buchhandel erschienenen Schrift veröffentlicht worden sind, so denke ich, wird man ihm Dank wissen, daß er mir auf meinen Vorschlag gestattet hat, diese Veröffentlichung im Anhange zu meiner Arbeit wieder zum Abdruck zu bringen.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, zum Schluß der Verlagsbuchhandlung von Gebrüder Borntraeger für die Liberalität, mit welcher sie mir bei der Ausstattung des Buches entgegengekommen ist, meinen verbindlichsten Dank zu sagen.

Aachen, Technische Hochschule, Mai 1905.

A. Wieler.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Kapitel I. Nachweis der schwefligen Säure in den Blattorganen . . 1

Kapitel II. Die sauren Gase dringen durch die Spaltöffnungen in die Blattorgane ein 27

Die herrschende Ansicht über das Eindringen der Gase S. 28. — Eigene Versuche S. 30. — Die Ursache für die Steigerung der Säurewirkung bei feuchter Luft und starker Beleuchtung S. 40.

Kapitel III. Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen 42

Die Wirkung gasförmiger und gelöster Säure. Korrosionen und allgemeine Erkrankung der Blattorgane

I. Die Korrosionen im weiteren Sinne 48

Die Widerstandsfähigkeit der pflanzlichen Organe gegen schweflige Säure S. 48. — Beschaffenheit und Entstehung der Korrosionen S. 74. — Mikroskopische Untersuchung der Korrosionen S. 80.

II. Beeinflusssung der Assimilation durch die schweflige Säure 100

Untersuchung im Freien mit der Sachs'schen Jodprobe S. 101. — Versuche mit derselben Methode S. 102. — Versuche mit gelöster Säure S. 103. — Prüfung der Assimilation aus dem Gaswechsel der Pflanze, Versuchsanstellung S. 104. — Periodizität der normalen Atmung S. 125. — Beziehung der Säure zur Atmung S. 133. — Abhängigkeit der Assimilation von Tages- und Jahreszeit S. 135. Versuchsmaterial S. 143. — Ergebnisse der Assimilationsversuche S. 143.

III. Ist die Assimilationsverminderung durch eine Beeinflussung der Chloroplasten oder durch einen Verschluß der Spaltöffnungen unter Einwirkung der schwefligen Säure bedingt? 161

A. Direkte mikroskopische Prüfung 162

B. Tritt bei mangelnder Bewegungsfähigkeit des Spaltöffnungsapparates eine Assimilationsverminderung auf? 165

IV. Die Beeinflussung der Transpiration und der Wasseraufnahme durch die schweflige Säure 166

Die einschlägigen Versuche von v. Schroeder S. 166. — Die Hartig'sche Erklärung der Säurewirkung S. 172. — Eigene Versuche S. 173. — Ergebnisse derselben hinsichtlich der Transpiration S. 176 und der Wasseraufnahme S. 183.

V. Die Injektionen 192

Seite

VI. Langdauernde Einwirkung der Säure in starker Verdünnung im Räucherhause 206
A. Künstliche Hervorrufung chronischer Schäden 209
Die Verfärbungserscheinungen der Blätter S. 215.
B. Die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Ableitung der Assimilate 228
VII. Beeinflussung des Längenwachstums durch die schweflige Säure . . 241
VIII. Die Wirkungsweise der schwefligen Säure in der Pflanzenzelle . . 253
IX. Die Beschädigung der Baumvegetation in Rauchschadengebieten . . 270
Kapitel IV. Die Einwirkung der Säure auf den Boden 290
Kapitel V. Beziehung zwischen dem Höhenwachstum der Bäume und der Bodenbeschaffenheit 322
Kapitel VI. Die Resistenz der Gewächse 344
Kapitel VII. Gehalt der Luft an schwefliger Säure in Rauchschadengebieten 356
Kapitel VIII. Die Rauchexpertise 374
Tabellen 384
Tabelle 1. A. Versuche über normale Atmung 384
B. Atmung unter Einwirkung schwefliger Säure 387
Tabelle 2. Assimilationsversuche 390
Tabelle 3. Versuche über die Wasseraufnahme und Wasserabgabe der Pflanzen unter Einwirkung der schwefligen Säure 395
Tabelle 4. Beeinflussung des Längenwachstums durch die schweflige Säure 412
Tabelle 5. Beeinflussung des Wachstums der Blattorgane durch die schweflige Säure 414
Anhang. Oster, Exkursion in den Stadtwald von Eschweiler zur Besichtigung der Hüttenrauchbeschädigungen am 5. September 1887 417

Kapitel I.

Nachweis der schwefligen Säure in den Blattorganen.

Die Beurteilung der Wirkungsweise der schwefligen Säure, welche bei verschiedenen industriellen Betrieben und durch die Verbrennung der Stein- und Braunkohlen aus den Essen und Kaminen in die Luft gelangt, auf die Vegetation wird dadurch sehr erschwert, daß sie bei Berührung mit Sauerstoff und Wasser leicht zu Schwefelsäure oxydiert wird, und daß es infolgedessen zweifelhaft bleibt, ob sie als schweflige Säure oder als Schwefelsäure wirksam wird, wenn sie in die Blattorgane der Pflanzen eindringt; denn in ihnen sind die Bedingungen zur Schwefelsäurebildung erfüllt. Es wird sich wohl immer um eine kombinierte Wirkung von schwefliger Säure und Schwefelsäure handeln, und es ist nur die Frage zu entscheiden, welcher Säure der Löwenanteil zufällt. Den Anteil beider Säuren zu bestimmen, wird dadurch schwierig oder unmöglich, daß die schweflige Säure keine charakteristische Verbindungen bildet, welche gestatten, die Schicksale der eingedrungenen Säure in den Geweben zu verfolgen. Unter diesen Umständen kann es nicht überraschen, daß die Ansicht der Forscher auseinander geht, der eine die Wirkung der Säure als eine ausschließliche Wirkung der Schwefelsäure, der andere vorwiegend als die der schwefligen Säure betrachtet. Den ersten, lediglich aus chemischen Gesichtspunkten diktierten Standpunkt nahm Freytag ein, den zweiten vertraten v. Schroeder und Reuß[1]). Durch besondere Versuche wollten sie den Nachweis erbringen, daß die schweflige Säure an sich für die Pflanze schädlicher sei als die Schwefelsäure, und daß das eigentlich Schädigende im Hütten- und Feuerungsrauch die schweflige Säure und nicht etwaige Beimengungen von Schwefelsäure seien.

Unter gleichen Umständen beräucherten sie Zweige mit schwefliger Säure und mit Schwefelsäure und verglichen sie mit unberäucherten Zweigen. An den mit schwefliger Säure beräucherten Zweigen waren die Blattorgane

[1]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Berlin 1883, S. 80.

viel eher und in viel höherem Grade beschädigt, als an den mit Schwefelsäure beräucherten. Die Beschädigung der Vegetation durch Hüttenrauch soll auf Grund dieser Versuchsergebnisse nach Ansicht unserer Autoren eine spezifische Wirkung der schwefligen Säure sein. Die Hauptmenge der Säure soll als schweflige Säure eindringen, aber, nachdem sie gewirkt hat, ziemlich schnell in Schwefelsäure übergehen, „da man nur sehr bald nach der Einwirkung schweflige Säure, einige Zeit darauf aber immer nur Schwefelsäure nachweisen konnte«. Nach drei Stunden soll die eingedrungene schweflige Säure in den Blattorganen verschwunden sein; mithin hat die schweflige Säure einen ziemlich langen Zeitraum zur Verfügung, um nachteilig zu wirken. Es steht nichts im Wege, eine Wirkung der schwefligen Säure als solcher anzunehmen, es darf aber nicht vergessen werden, daß nebenher immer eine Wirkung der Schwefelsäure gehen muß, indem ein Teil der schwefligen Säure bereits oxydiert in die Zellen eindringt. Diese Versuche von v. Schroeder und Reuß scheinen aber nicht ausreichende Überzeugungskraft zu besitzen, denn in neuerer Zeit wird die Frage wieder von Haselhoff und Lindau diskutiert und zwar mit dem Ergebnis, daß die schädliche Wirkung des Rauches in einer Wirkung der Schwefelsäure aller Wahrscheinlichkeit nach zu suchen sei. Sie gehen bei ihren Erwägungen besonders von der Wirkung der Säure im Sonnenlichte aus. »Nun ist weiter zu berücksichtigen, daß der Sauerstoff in den Zellen sich in statu nascendi befindet, also besonders befähigt ist, chemische Umsetzungen zu veranlassen. Es unterliegt unter diesen Umständen wohl kaum einem Zweifel, daß die schweflige Säure sofort zu Schwefelsäure oxydiert. Alle Schädigungen müßten also der Schwefelsäure zugeschrieben werden« [1]). Ob die schnelle Oxydation zutrifft, ist nicht erwiesen, sondern ist eine Annahme. Aber abgesehen davon, können auch Schäden durch schweflige Säure im Dunkeln hervorgerufen werden, wo der Sauerstoff in statu nascendi fehlt. Die Ansicht von Haselhoff und Lindau wirkt keinesfalls überzeugender, als die durch Versuche gestützte Ansicht von v. Schroeder und Reuß, namentlich, wenn man berücksichtigt, daß in Wasser gelöste schweflige Säure einen gewissen Zeitraum beansprucht, bis sie vollständig oxydiert ist. Es wäre von den Verfassern verdienstvoll gewesen, wenn sie einmal festgestellt hätten, wie schnell die Oxydation der schwefligen Säure zu Schwefelsäure unter zu den in den Blättern herrschenden analogen Umständen erfolgt.

Wenn es nun auch nicht möglich ist, die Wirkung der Schwefelsäure neben der der schwefligen Säure auszuschließen, da diese sich teilweise

---

[1]) Haselhoff und Lindau, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Leipzig 1903. S. 141, 145.

oxydieren muß, so ist doch andererseits die Frage nicht gleichgültig, ob der Hauptschaden durch Schwefelsäure oder durch schweflige Säure hervorgerufen wird, da es eine Reihe von Erscheinungen gibt, welche vielleicht verständlich werden, wenn man eine Wirkung der schwefligen Säure annehmen darf, unverständlich bleiben oder eine ganz andere Erklärung erheischen, wenn Schwefelsäure der schädigende Faktor ist. Hierher rechne ich die in Versuchen mit schwefliger Säure auftretenden Nachwirkungen und die chronischen Beschädigungen durch Rauch.

Während meiner Untersuchungen über die Einwirkung der schwefligen Säure auf die verschiedenen Funktionen der Pflanzen sind mir eine Reihe von Nachwirkungen aufgestoßen, welche im nachstehenden an passender Stelle Erwähnung finden werden. Hier sollen sie nur kurz berührt werden. Unter Einwirkung der Säure vermindert sich die Assimilationsgröße, um erst nach kürzerer oder längerer Zeit auf die normale Größe zurückzugehen. In einem Versuch mit der Fichte, in dem die angewandte Säurekonzentration 1 : 87 000 betrug, verstrichen sogar drei Tage.

Die mit Absterben von Zellen verbundene schädigende Wirkung der Säure macht sich häufig erst 12 Stunden und später nach Aufhören der Einwirkung an den Blättern bemerkbar. An einer Topfbuche, welche 6 Wochen lang im Räucherhause beräuchert worden war, traten Beschädigungen an ihren Blättern erst etliche Tage, nachdem das Exemplar ins Freie gestellt worden war, auf.

Sehr überraschend ist eine Nachwirkung am Weinstock. Ein Topfexemplar war im Räucherhause 8—14 Tage beräuchert und dann ins Freie gebracht worden. Die Einwirkung begann, sich gerade bemerkbar zu machen, als die Pflanze herausgenommen wurde. In der Epidermis eines älteren Blattes trat ein roter Farbstoff auf, der sich im Laufe der Zeit über alle Blätter verbreitete.

Alle diese Nachwirkungen scheinen mir nur verständlich zu werden, wenn man annehmen kann, daß die schweflige Säure in den Blattzellen gespeichert wird, um später noch in Aktion zu treten. Und ebenso scheint man mir sich das Zustandekommen der chronischen Beschädigungen vorstellen zu müssen, wenn diese überhaupt auf eine direkte Säurewirkung zurückzuführen sind. Unter Einwirkung sehr starker Verdünnungen können bei genügend langer Einwirkung tief greifende Schäden an den Pflanzen hervorgerufen werden. Auch hier wird man eine Speicherung der schwefligen Säure annehmen dürfen, welche vielleicht auch bei genügender Anreicherung verhängnisvoll werden kann.

Wenn die hier gemachte Annahme einer Speicherung der schwefligen Säure in den Blattorganen zutreffend ist, so muß sich die schweflige Säure in mit ihr beräucherten Pflanzen oder Pflanzenteilen längere Zeit, als

v. Schroeder und Reuß behaupten, nachweisen lassen. Ein derartiger Versuch war von vorne herein nicht aussichtlos, denn aus der Nahrungsmittelchemie sind Beispiele bekannt, daß Pflanzenteile oder Pflanzensäfte schweflige Säure nach der Beräucherung zurückhalten. Das bekannteste Beispiel ist der Wein oder der Most, welcher in geschwefelte Fässer gefüllt wird. Auch gedörrtes Obst, ob mit Recht oder Unrecht, wird der Konservierung oder Entfärbung halber gleichfalls oft geschwefelt. In allen diesen Fällen müssen also Stoffe vorhanden sein, welche die Säure zu speichern vermögen; dann wird man aber auch ihr Vorkommen in anderen Pflanzen und Pflanzenteilen erwarten dürfen. Es muß der Nachweis hier in derselben Weise möglich sein wie bei den Nahrungsmitteln. Ich habe mich mit gutem Erfolge der für die Untersuchung von Wein benutzten, wohl von Karl Windisch herrührenden Methode[1]) bedient. Sie beruht darauf, daß die gebundene schweflige Säure durch Phosphorsäure entbunden und durch Destillation im Kohlensäurestrom ausgetrieben wird. Die entweichende Säure wird in einer Jodlösung aufgefangen und zu Schwefelsäure oxydiert. Die Bestimmung der Schwefelsäure geschieht als schwefelsaures Baryum gewichtsanalytisch. Zur Herstellung der Jodlösung werden 5 g reines Jod und 7,5 g Jodkalium mit Wasser zu einem Liter aufgefüllt. Von dieser Lösung werden jedesmal etwa 100 ccm in die Vorlage gefüllt, um die entweichende schweflige Säure aufzufangen. Die von mir untersuchten Objekte, vorwiegend Blattorgane, wurden auf dem Hackbrett fein zerkleinert und mit dem erforderlichen Wasser in den Destillierkolben, der im Sandbad stand, gebracht. Phosphorsäure wurde dem Wasser etwa in dem Verhältnis zugesetzt, wie es für die Weinuntersuchung üblich ist.

Ehe ich Material beräucherter Zweige untersuchte, habe ich Zitronenschalen der Destillation unterworfen. Die gelbe Farbe der in den Handel kommenden Zitronen wird künstlich durch Bleichen mit schwefliger Säure erzielt[2]); es durfte also erwartet werden, daß die Säure durch die Oberhaut eindringt und in der Schale nachweisbar ist. Es wurden Zitronen sorgfältig geschält und diese Schale, nachdem sie gut zerkleinert worden war, destilliert. 150 g lieferten 0,004 und 300 g 0,007 g $BaSO_4$. Sehr bedeutend ist diese Menge ja nicht, aber ausreichend um zu zeigen, daß auch in lebenden Organen die schweflige Säure für lange Zeit gespeichert werden kann. Möglicherweise enthalten die Zitronen unmittelbar nach der Schwefelung mehr Säure, als wenn sie schon Wochen lang im Handel gewesen sind.

---

[1]) Vergl. H. Thoms, Einführung in die praktische Nahrungsmittelchemie. Leipzig 1899, S. 190.

[2]) H. Semler, Die tropische Agrikultur. 2. Aufl. 2. Bd. 1900, S. 96.

Die ersten Destillationen zum Nachweis von schwefliger Säure in den Blattorganen wurden mit künstlich beräucherten Zweigen ausgeführt.

Am 16. Dezember 1902 wurde 7 Stunden lang schweflige Säure über Fichtenzweige geleitet, welche sich unter einer hermetisch abgeschlossenen Glasglocke befanden (Versuchsanstellung wie im Abschnitt über »die Beeinflussung der Wasseraufnahme durch die schwefliche Säure«). Während dieses Zeitraumes passierten 15,3 g Säure den Apparat. Es handelte sich also um eine verhältnismäßig hohe Konzentration, die aber absichtlich gewählt worden war, um das Ergebnis des Versuches besonders augenfällig zu machen. Am folgenden Tage wurden die Nadeln abgepflückt, gewaschen, um eventuell äußerlich anhängende Säure zu entfernen, zerkleinert und der Destillation mit Phosphorsäure unterworfen. Etwa 40 g Nadeln lieferten 0,2 g $BaSO_4$, was einem Gehalt von 0,05 g SO_2 entsprach. Die 40 g Blattsubstanz haben also aus ungefähr 5 Litern schweflige Säure, welche die Zweige passierten, 17 ccm gespeichert. Zur Kontrolle, daß die schweflige Säure nicht normalerweise bereits in den Nadeln vorhanden ist, wurden zwei Proben Nadeln zu 25 g von nichtberäucherten Fichtenzweigen in gewaschenem und ungewaschenem Zustande destilliert. In der Vorlage trat mit Chlorbaryum kein Niederschlag auf.

Am 19. Dezember 1902 wurde ein analoger Versuch mit Zweigen von Prunus Laurocerasus ausgeführt. Die Versuchsdauer betrug 6 Stunden, die Konzentration der Säure in der Luft 1 : 1423. Bei Beendigung des Versuches waren wahrnehmbare Beschädigungen der Blätter nicht vorhanden. An demselben Tage wurde noch die zerkleinerte Blattmasse destilliert. 63 g Blattsubstanz lieferten 0,018 g SO_2 oder 6 ccm SO_2. Die Blätter eines nicht beräucherten Kontrollzweiges (78 g Blattsubstanz) lieferten keine schweflige Säure. Am 22. Dezember wurde ein zweiter Versuch mit Prunus Laurocerasus angestellt. $7^1/_2$ Stunden lang wirkte die schweflige Säure in der Konzentration 1 : 9853 ein. Bei Beendigung des Versuches waren keine Beschädigungen vorhanden. Am folgenden Morgen wurden ganz schwache Beschädigungen der Blätter bemerkbar. Es wurde ein Teil derselben (40 g) gewaschen und in der beschriebenen Weise der Destillation unterworfen. Die 40 g Substanz lieferten 0,006 g SO_2. Am Abend desselben Tages waren die übrigen Blätter stärker beschädigt. Am 24. Dezember wurden wiederum 38 g Blätter destilliert; sie lieferten 0,008 g SO_2. Zusammen waren also in 78 g Blattsubstanz 0,014 g oder 5 ccm SO_2 enthalten.

Vom 12. bis 16. Januar 1903 wurde ein Epheuzweig tagsüber mit Konzentrationen beräuchert, welche zwischen 1 : 29 600 und 1 : 49 800 schwankten. Am 29. Januar waren alle Blätter mehr oder weniger beschädigt und vertrocknet. Sie lieferten 32 g Substanz, woraus 0,0024 g SO_2 destilliert wurden.

Als am 20. Dezember 1902 während 6 Stunden schweflige Säure in der Konzentration 1 : 3200 auf einen Epheuzweig einwirkte, wurden nach Beendigung des Versuches, als noch keine Beschädigung an den Blättern wahrzunehmen war, 0,096 g SO_2 aus 60 g Blättern destilliert.

Die vorstehenden, mit Fichtennadeln und mit Blättern von Prunus Laurocerasus und Epheu teils im beräucherten, teils im unberäucherten Zustande ausgeführten Versuche liefern den Beweis, daß in den Blattorganen, welche Gelegenheit hatten, schweflige Säure aus der Luft aufzunehmen, die Säure nicht nur unmittelbar nach Beendigung des Versuches, sondern wie in dem einen Epheuversuch selbst noch nach 14 Tagen nachzuweisen ist. Man wird vermuten dürfen, daß sich die Säure in den Blattorganen unbegrenzt lange hält. Damit ist also bewiesen, daß wenigstens ein Teil der schwefligen Säure, welche die Blätter aus der Luft aufzunehmen vermögen, als schweflige Säure in die Zellen eindringt, es ist ferner bewiesen, daß in denselben Stoffe vorhanden sein müssen, welche vielleicht durch Anlagerung die Säure speichern können.

Die Versuche lassen weiter erkennen, daß die Menge Säure, welche von den Blattorganen gespeichert wird, in hohem Maße von der Konzentration in der sie umgebenden Luft abhängig ist, Mit steigender Konzentration steigt die Menge der aufgenommenen Säure, was deutlich aus den beiden Versuchen mit Epheu hervorgeht. Aus der hoch konzentrierten Säure 1 : 3200 war in 6 Stunden doppelt so viel Säure gespeichert worden, als aus der schwachen Konzentration 1 : 29 600 — 1 : 49 800 während 5 Tagen. In welchem Verhältnis die Menge der aufgenommenen Säure zu der in der Luft herrschenden Konzentration steht, ist aus den wenigen Versuchen nicht zu ersehen. Aus den beiden Versuchen mit Prunus Laurocerasus geht hervor, daß aus der säureärmeren Luft verhältnismäßig mehr Säure gespeichert wird. Berechnet man die Zahlen auf die gleiche Versuchsdauer, so verhalten sich die gespeicherten Säuremengen etwa wie 2 : 1, während der Gehalt der Luft an Säure in dem Verhältnis wie 7 : 1 steht. Obgleich die Zahl meiner Versuche gering ist, so machen sie es doch wahrscheinlich, daß selbst bei außerordentlich starken Verdünnungen der Säure in der Luft nachweisbare Mengen von den Blattorganen aufgenommen werden, wenn sie nur lange genug ihrer Einwirkung ausgesetzt sind. Es würde dann auch begreiflich werden, daß Pflanzen bei einem kurzen Aufenthalt in einer solchen Atmosphäre unbeschädigt bleiben, während sie bei einem langen Aufenthalt geschädigt werden und zugrunde gehen können. Es schien mir nun von großer Bedeutung zu sein festzustellen, ob unter diesen Umständen die schweflige Säure in den Blattorganen nachweisbar ist; denn eventuell bot sich hier die Möglichkeit, das Auftreten der chronischen Beschädigungen zu erklären und zu erkennen.

Der einfachste Weg war, entsprechendes Material aus verschiedenen Rauchschadengebieten zu untersuchen. Es gelang mir, mir passendes Material aus dem Rauchschadengebiet bei der Clausthaler Silberhütte im Harz, bei Barmen, bei Myslowitz-Kattowitz und bei Stollberg i. Rh. zu verschaffen. Mit Rücksicht auf die Rauchwirkung in den Städten habe ich Lindenblätter vom Jungfernstieg in Hamburg und Material aus den Anlagen der Technischen Hochschule in Aachen geprüft. Um ganz sicher zu gehen, daß nicht normalerweise die Pflanzen schweflige Säure enthielten, was nach meinen Versuchen freilich als ausgeschlossen gelten konnte, habe ich auch Material von Orten wie dem Aachener Stadtwald und dem Kermeter-Forst in der Eifel, wo Rauchbeschädigungen bisher nicht beobachtet worden sind, untersucht. Auch eine Kiefernprobe aus einem Walde bei Delbrück im Regierungsbezirk Cöln, welche zufällig in meine Hände fiel, diente demselben Zweck.

Die Untersuchung dieses Materials geschah in derselben Weise wie in den oben beschriebenen Versuchen mit den Zweigen, nur daß es erforderlich wurde, mit Rücksicht auf den voraussichtlich geringeren Gehalt der Blattorgane an Säure größere Mengen der Destillation zu unterwerfen. Wo es sich ausführen ließ, wurden für jede Bestimmung 150 g Blattsubstanz benutzt. Die Schwefelsäurebestimmungen wurden von Herrn Dr. Grünewald, der mir damals assistierte, ausgeführt, während die rein mechanischen Verrichtungen und die Destillation von einer anderen Persönlichkeit besorgt wurden.

Um irrigen Meinungen von vorne herein vorzubeugen, sei hier ausdrücklich erwähnt, daß auf alle Fehlerquellen, welche eventuell in Betracht kommen könnten, Rücksicht genommen worden ist. Indem gewaschene und ungewaschene Proben nebeneinander verglichen wurden, wurde festgestellt, daß die Säure nicht äußerlich anhaftete. Das zu den Destillationen benutzte Wasser wurde auf einen Gehalt an schwefliger Säure geprüft und nur benutzt, wenn es frei davon war. Die Destillationen geschahen mit Gas. Da hierbei etwas schweflige Säure entstehen konnte, wurden vergleichende Versuche mit Gas und mit Spiritus angestellt. Auch habe ich Destillationen mit Gas ausgeführt, wobei die destillierte Flüssigkeit keine Säure enthielt, so daß etwaige Säure nur aus der Luft des Zimmers in die Jodlösung eindringen konnte. Da diese Versuche keine Nachteile des Gasbrenners ergaben, sind die Destillationen mit diesem ausgeführt worden.

1. Clausthaler Rauchschadengebiet[1]).

Die Zweige der Fichte — nur sie wurde aus diesem Gebiet untersucht — waren meinem Wunsche entsprechend drei Standorten in ver-

[1]) Eine eingehende Schilderung dieses Gebietes findet sich bei v. Schroeder und Reuß, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Berlin 1883, eine kurze

schiedener Entfernung von der Clausthaler Silberhütte entnommen worden. Verschiedene Entfernungen habe ich hier wie auch in anderen Fällen wählen lassen, weil ich hoffte, mit wechselnder Entfernung ungleiche Mengen schwefliger Säure nachweisen zu können.

Standort I. »Ein 40 jähriger Fichtenbestand, welcher etwa 0,8 km westsüdwestlich von der Hütte entfernt liegt, wo bald jede Vegetation aufhört, und bis wohin bisher alle Anbauversuche mit verschiedenen Laub- und Nadelhölzern gescheitert und erfolglos geblieben sind. Nur eine vor etwa 55 Jahren ausgeführte Eichen-Stummelpflanzung schlägt alljährlich aus, wird aber überhaupt nicht höher als durchschnittlich 0,5 m und ragt eben aus dem Heidekraut heraus, welches dort teilweise noch gut vegetiert.

Standort II. 70jähriger Fichtenbestand, etwa 2 km nordwestlich von der Hütte gelegen, woselbst der Rauchschaden stark erkennbar ist. Der Bestand war 1883 durch Schneedruck sehr stark verbrochen; die Lücken wurden mit Fichten ausgepflanzt, welche bisher einen üppigen Wuchs und frisches Aussehen zeigten, jetzt (1903) aber auch schon, selbst unter dem Schutze der stehen gebliebenen älteren Fichten, den Rauchschaden sehr stark und unzweifelhaft zeigen. Namentlich hat sich das Rotwerden der Nadeln seit Oktober 1902 auffallend vermehrt.

Standort III. 30 jähriger Fichtenbestand, etwa 5 km nordwestlich von der Hütte entfernt, woselbst der Rauchschaden bisher nicht erkennbar ist.«

Bei Auswahl des Materials waren verschiedene Beschädigungsgrade maßgebend, weil sich so leicht feststellen lassen mußte, ob zwischen dem Grade der Beschädigung und der Menge der von den Blattorganen aufgenommenen schwefligen Säure eine Beziehung besteht. Nach meinen Versuchen durfte eine solche Beziehung erwartet werden. Mit diesem Material habe ich nun eine Reihe von Destillationen ausgeführt, um verschiedene Fragen zu beantworten.

I. Am 23. April wurden 50 gr Nadeln destilliert(1). Ein wägbarer Niederschlag von $BaSO_4$ entstand im Destillat nicht. Am folgenden Tage wurde ein neuer Versuch, aber mit 100 g Nadeln ausgeführt(2). Es entstand im Destillat ein Niederschlag von 0,0015 g $BaSO_4$. Damit war der Nachweis geliefert, daß SO_2 in den Nadeln vorhanden und nachweisbar ist. Von den Zweigen, deren Nadeln untersucht worden waren, wurde die Rinde abgelöst und zerkleinert; die jungen Zweige wurden ganz zerkleinert. Die so erhaltene Masse, 50 g Substanz, lieferte einen Niederschlag von

---

Beschreibung bei Haselhoff und Lindau, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Leipzig 1903, S. 150. Der betreffende Teil des Innerstetales findet sich auf dem Meßtischblatt „Seesen“.

0,0043 g $BaSO_4$(3). Also auch in der Rinde der Zweige ist die schweflige Säure vorhanden. Am 30. April wurde wiederum eine Probe Nadeln von 100 g untersucht(4). Sie lieferte 0,008 g $BaSO_4$. Am 26. Mai lieferte ein neuer Versuch mit 100 g Nadelsubstanz 0,0046 g $BaSO_4$(5). Alle diese Versuche leiden an dem Fehler, daß sie keine ganz vergleichbaren Werte liefern, weil der Wassergehalt nicht bestimmt worden war. Es war ursprünglich nicht in Aussicht genommen worden, so lange, wie geschehen ist, mit dem Material zu experimentieren; für die ersten Tage wird man den Wassergehalt der Nadeln gleichsetzen können, namentlich da kein warmes Wetter war und Sorge getragen wurde, die Wasserabgabe nach Möglichkeit zu beschränken. Immerhin lassen sich aus den Zahlen zwei Tatsachen ableiten. Greift man die Nadeln beliebig heraus, so ist der Gehalt an schwefliger Säure sehr schwankend, was wohl nicht überraschen kann, wenn man sich erinnert, daß die chemische Analyse meistens einen ungleichen Gehalt an Schwefelsäure für die Nadeln verschiedener Jahrgänge nachweist. Als zweite Tatsache ergibt sich aus den Zahlen, daß die schweflige Säure sich unbegrenzt lange in den Nadeln hält, und daß auch nicht einmal das Absterben der Nadeln eine Verminderung derselben herbeiführt. So kann man noch Monate lang, nachdem die Zweige gepflückt worden sind, die Säure nachweisen und wohl in gleicher Menge wie unmittelbar nach der Pflückung.

Da es nun aber wünschenswert war, zum Vergleich mit den Ergebnissen der Destillation anderen Materials verwertbare Zahlen zu bieten, wurde noch am 17. August mit 150 g Nadeln eine Destillation unter Bestimmung ihres Wassergehaltes ausgeführt(6). Bei einem Wassergehalt von 11,8 % lieferten 150 g Nadeln 0,0012 g $BaSO_4$, einen allerdings nur geringen Betrag.

II. Der erste Versuch wurde am 2. Mai mit 100 g Nadeln angestellt. Sie lieferten 0,0025 g $BaSO_4$ (1). Dies Material enthielt verhältnismäßig viele beschädigte Nadeln. Es mußte sich also leicht feststellen lassen, ob die beschädigten Nadeln mehr schweflige Säure enthielten. Am 5. Mai wurden braune Nadeln abgepflückt und destilliert. 100 g lieferten aber nur 0,002 g $BaSO_4$ (2). Am 28. Juni wurden 150 g Nadeln destilliert(3); sie lieferten 0,007 g $BaSO_4$. Dieser größere Niederschlag wird wohl zum Teil durch den geringen Wassergehalt der Nadeln gegenüber dem vorhergehenden Termin bedingt sein. Um so überraschender ist es, daß eine Destillation von 150 g Nadeln am 18. August bei einem Wassergehalt von 8,80 % Wasser nur 0,0017 g $BaSO_4$ lieferte(4).

III. Die erste Destillation fand am 1. Mai statt. 120 g Substanz lieferten 0,006 g $BaSO_4$(1). Es wurde an demselben Tage noch eine zweite Destillation (2) vorgenommen. 100 g Nadeln lieferten 0,004 g $BaSO_4$, ein

Ergebnis, das mit dem vorhergehenden ziemlich gut übereinstimmt. Am 2. Mai wurde eine Destillation der Nadeln des letzten Triebes ausgeführt (3). 95 g Nadeln lieferten 0,002 g $BaSO_4$. Diese Nadeln waren alle grün gewesen, sonst fanden sich aber viele braune Nadeln unter dem Material, die auch bei 1 und 2 reichlich vertreten waren. Es wurden deshalb am 4. Mai 120 g der braunen Nadeln der Destillation unterworfen. 120 g lieferten 0,005 g $BaSO_4$ (4). Am 28. Juni wurden 150 g Nadeln destilliert; sie lieferten 0,006 g $BaSO_4$ (5). Am 18. August wurden noch einmal 150 g Nadeln unter Bestimmung des Wassergehaltes (9,60 %) destilliert. Sie lieferten 0,0019 g $BaSO_4$ (6).

Die Versuche mit dem Material von Standort II und III bestätigen die Ergebnisse mit dem Material von Standort I. Vergleicht man aber die Destillationsergebnisse von den 3 Standorten, so erhält man ein nicht vorhergesehenes Ergebnis. Da man für die Zeit Ende April und Anfang Mai den Wassergehalt der verschiedenen Proben annähernd gleichsetzen darf, so erhält man, auf 100 g Nadelsubstanz bezogen:

I	II	II
2. 0,0015 g $BaSO_4$	1. 0,0025 g $BaSO_4$	1. 0,005 g $BaSO_4$
4. 0,0080 g „	2. 0,0020 g „	2. 0,004 g „

Wenn man von dem unverhältnismäßig hohen Gehalt in I 4 absieht, so steigt der Gehalt an schwefliger Säure ganz im entgegengesetzten Sinne, als erwartet wurde.

Zum Vergleich mögen nun noch die Werte für die Termine im August, wo der Wassergehalt der Nadeln bestimmt wurde, herangezogen werden. Die Angaben sind für 150 g Nadelsubstanz gemacht.

I	11,8 % Wasser	0,0012 g $BaSO_4$
II	8,8 % „	0,0017 g „
III	9,6 % „	0,0019 g „

Sind hier die absoluten Werte auch verhältnismäßig viel geringer als bei den anderen Bestimmungen, so liefern sie doch dasselbe Verhältnis. Mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle nimmt der Gehalt der Nadeln an schwefliger Säure zu. Dies Resultat war so überraschend, daß ich mich entschloß, noch einmal an frischem Material die Ergebnisse zu kontrollieren. Anfang September erhielt ich eine zweite Sendung Zweige von denselben Standorten. Es wurden zunächst Bestimmungen ausgeführt, indem alte und junge Nadeln zusammen verwendet wurden. Auch wurde der Wassergehalt bestimmt. Auf 100 g Trockensubstanz bezogen, ergaben sich folgende Werte:

I	0,0030 g $BaSO_4$
II	0,0035 g „
III	0,0024 g „

Hier ergibt sich also ein kleinerer Wert für die Nadeln von Standort III, während der Gehalt an schwefliger Säure bei II größer ist als bei I. Eine nochmalige Kontrolle war also notwendig. Ich ließ diese in der Weise ausführen, daß ich von jedem Standort getrennt alte und junge (letztjährige) Nadeln untersuchen ließ. Es sollte, um absolut vergleichbare Zahlen zu erhalten, bei jeder Probe auch der Wassergehalt bestimmt werden, was aber augenscheinlich aus mir unbekannten Gründen für einige Proben unterblieben ist. Für jede Probe wurden 150 g Nadeln benutzt.

	I	II	III
Alte Nadeln	0,0023 g $BaSO_4$	0,0043 g 42,3 % H_2O	0,0035 g 47,5 % H_2O
Junge „	0,0014 g „	0,0038 g 51,65 „ „	0,0052 g
	0,0037 g	0,0081 g	0,0087 g
	0,0018 g	0,0040 g	0,0043 g

Vergleicht man diese Zahlen miteinander, so würde sich entsprechend den Untersuchungsergebnissen der ersten Sendung eine Zunahme an schwefliger Säure mit wachsender Entfernung ergeben. Die absoluten Werte ändern sich, aber das Verhältnis bleibt dasselbe, wenn man den Wassergehalt in Rechnung zieht und den Gehalt an schwefliger Säure für 100 Teile Trockensubstanz bestimmt. Setzt man in den Fällen, wo der Wassergehalt nicht ermittelt wurde, den mittleren Wassergehalt aus dem vorhergehenden Versuch ein, so muß annähernd der richtige Wert getroffen werden. Man erhält dann:

	I	II	III
Alte Nadeln	0,0032 g $BaSO_4$	0,0050 g $BaSO_4$	0,0044 g $BaSO_4$
Junge „	0,0019 g „	0,0050 g „	0,0079 g „
	0,0051 g	0,0100 g	0,0123 g
	0,0025 g	0,0050 g	0,0061 g

Die für Trockensubstanz berechneten Zahlen lehren in auffallenderer Weise als die direkt ermittelten Werte, daß mit steigender Entfernung der Gehalt an Säure zunimmt. Mehrere Bestimmungen liefern übereinstimmend einen größeren Gehalt der Nadeln an Säure mit zunehmender Entfernung von der Hütte. Eine einzige Bestimmung ergibt für den Standort III den geringsten Gehalt an Säure, während auch in diesem Falle die Nadeln vom Standort II noch einen höheren Gehalt aufweisen als die vom Standort I. Wenn man sich nun auch nicht darüber wundern darf, daß die verschiedenen Bestimmungen von einer und derselben Sorte Nadeln sehr ungleich ausfallen, da jedenfalls die Nadeln an demselben Baum, ja selbst an demselben Zweige ungleich von der Säure getroffen werden und diese infolgedessen von ihnen in ungleichem Maße gespeichert

wird, so ist das Gesamtergebnis doch eine Zunahme der Säure mit wachsender Entfernung. Dies Ergebnis muß außerordentlich auffallen, wenn man berücksichtigt, daß der Standort III etwa 5 km nordwestlich von der Hütte entfernt liegt, und daß bisher dort der Rauchschaden noch nicht erkennbar ist, während von dem Standort II ausdrücklich angegeben wird, daß der Rauchschaden sehr stark und unzweifelhaft sei und Standort I in der nach Südwesten zu gelegenen Zone starker Beschädigung gewählt worden war.

Eine direkte Beziehung zwischen dem Gehalt der Nadeln an schwefliger Säure und dem Grade der Beschädigung ließ sich also aus dem Material von der Clausthaler Hütte nicht ableiten. Immerhin sind die Ergebnisse interessant genug, um volle Beachtung zu verdienen. Möglicherweise würde eine Ausdehnung der Versuche und eine Vermehrung der Analysen Licht in das überraschende Ergebnis bringen.

2. v. Tiele-Winckler'sches Forstrevier Myslowitz-Kattowitz.

Auch hier herrscht Nadelholz vor; es konnte also auch an diesem Material geprüft werden, ob sich die Menge schwefliger Säure in den Nadeln mit zunehmender Entfernung von der Rauchquelle vermindert.

Dies Gebiet ist von dem Oberforstrat Reuß[1]) eingehend geschildert und die Beschädigung der Waldungen nach dem Augenschein, dem chemischen Befund und dem Zuwachsverlust dargestellt worden. Im folgenden beziehe ich mich auf diese Darstellung, ganz besonders auf die derselben beigegebenen Karten. Seit ihrer Veröffentlichung ist der größere und zwar der zentral gelegene Teil des Waldkomplexes veräußert worden, sodaß eine Neueinteilung des Revieres erforderlich geworden ist. Auf dem Meßtischblatt Kattowitz sind die jetzt gültigen Bezeichnungen der Jagen eingetragen. Damit aber auch diejenigen, welche die Reuß'sche Veröffentlichung besitzen, sich auf der Karte zurechtfinden können, lasse ich nachstehend die alten Bezeichnungen für die Jagen in Klammern neben den neuen folgen.

Das Material wurde etwa Mitte Oktober 1903 gesammelt und entstammt dem westlichen bei Kattowitz und dem östlichen Teil des Reviers bei Brzenskowitz.

Forstrevier Kattowitz:

1. Südpark (9e) ca. 35 jähriger Bestand aus Fichten und Kiefern, ziemlich stark beschädigt.

---

[1]) Carl Reuß, Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Winckler'schen Forstrevier Myslowitz—Kattowitz, insbesondere Ermittlung, Bewertung und Verteilung des Rauchschadens, mit 2 Karten. Goslar 1893. — Auch beschrieben in Haselhoff u. Lindau, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Leipzig 1903, S. 168 u. ff.

2. Jagen 20 (7b) ca. 50 jähriger Bestand aus Fichten und Kiefern.
3. „ 14 (2e) ca. 40 „ „ „ „ „ „
4. „ 12 (4b) ca. 50 „ „ „ „ „ „
5. „ 8 (1b) ca. 45 „ „ „ „ „ „
6. „ 5 (5f) ca. 40 „ „ „ Kiefern.
7. „ 1 (50f) ca. 40 „ „ „ „ und etwas Fichten.
8. „ 22 (41a) ca. 45 „ „ „ Fichten und Kiefern.

Forstrevier Brzenskowitz:

1. Jagen 25 (9Aa) ca. 120 jähriger Bestand von Fichten und Kiefern.
2. „ 23 (8a) ca. 78 „ „ „ „ „ „
3. „ 20 (8d) ca. 80 „ „ „ „ „ „
4. „ 12 (6Ba) ca. 38 „ „ „ „ „ „
5. „ 13 (12Ab) ca. 36 „ „ „ „ „ „
6. „ 8 (4Ac) ca. 78 „ „ „ „ „ „
7. „ 1 (2b) ca. 38 „ „ „ „ „ „
8. „ 5 (1c) ca. 75 „ „ „ „ „ „
9. „ 14 (1Ac) ca. 40 „ „ „ „ „ „
10. „ 16 (55) ca. 35 jähriger Bestand von Fichten und Kiefern. Kiefernstangenort. In etwa 100 m Entfernung befindet sich eine Feldziegelei. In ihrer Nähe ist der Bestand fast ganz abgestorben.

Sichtbare Beschädigungen sind wesentlich nur vorhanden, wo die Nadeln starken Einwirkungen ausgesetzt sind, also im Südpark und in der Nähe der Feldziegelei im Jagen 16, Forstrevier Brzenskowitz. Die starken Schäden im Südpark sind vermutlich auf die benachbarte Emmahütte zurückzuführen. Im übrigen steht der Wald nicht unter der Einwirkung eines einzigen industriellen Etablissement, sondern unter der Einwirkung aller der in dieser industriereichen Gegend gelegenen Hütten usw., im Kattowitz—Myslowitzer Tale. Da es für unsere Zwecke gleichgültig ist, welche Hütte den Schaden anrichtet, oder in welchem Grade, so kann für uns als Rauchquelle die Gesamtsumme aller dieser industriellen Etablissements gelten. Von Reuß wird auf seiner Karte II besonders auf die Kunigundenhütte, einer Zink- und Bleihütte, exemplifiziert. Die Jagen, denen das Material für die Untersuchung entnommen wurde, waren so gewählt, daß verschiedene Entfernungen von der Rauchquelle vertreten waren.

Es stand zu erwarten, daß in den Proben, welche am stärksten beschädigt waren, auch am meisten schweflige Säure nachzuweisen sein würde. Diese Voraussetzung bestätigte sich. 100 g Trockensubstanz lieferten:

	Fichte	Kiefer
Südpark	0,0072 g $BaSO_4$	0,0044 g $BaSO_4$
Jagen 16 Brzenskowitz	0,0150 g „	0,0047 g „

In beiden Fällen also verhältnismäßig viel schweflige Säure, und zwar enthält die Fichte an beiden Standorten mehr schweflige Säure als die Kiefer. Alle anderen untersuchten Proben lieferten geringere Werte.

Fichte.

Forstrevier Brzenskowitz.

			100 g Trockensubstanz lieferten $BaSO_4$		
Jagen	25	44,40% H_2O	0,0024 g	0,0063 g	36,20% H_2O
„	20	45,20 „ „	0,0016 g		
„	13	41,70 „ „	0,0033 g	0,0049 g	41,80% H_2O
„	12	42,20 „ „	0,0022 g		
„	8	40,85 „ „	0,0020 g		
„	1	41,20 „ „	0,0019 g[1]).		

Forstrevier Kattowitz.

				100 g Trockensubstanz lieferten $BaSO_4$
Jagen	22	38,40%	H_2O	0,0027 g
„	20	42,90 „	„	0,0013 g
„	14	39,50 „	„	0,0022 g
„	12	41,30 „	„	0,0019 g
„	8	40,60 „	„	0,0024 g

Kiefer.

Forstrevier Kattowitz.

				100 g Trockensubstanz lieferten $BaSO_4$
Jagen	22	32,20%	H_2O	0,0026 g
„	20	40,60 „	„	0,0026 g
„	12	37,90 „	„	0,0015 g
„	8	33,40 „	„	0,0020 g
„	5	34,90 „	„	0,0012 g
„	1	30,50 „	„	0,0023 g

Die doppelte Bestimmung für die Fichten aus Jagen 25 und Jagen 13 aus dem Forstrevier Brzenskowitz (0,0024 : 0,0063, 0,0033 :

[1]) Dieser Wert ist etwas zu niedrig. Bei Beendigung der Destillation ist etwas von dem Destillat zurückgestiegen und dadurch verloren gegangen.

0,0049) zeigt auch hier, daß die Menge Säure, welche von den Nadeln gespeichert wird, sehr großen Schwankungen unterliegen kann. Diese Tatsache lehrt von neuem, daß man eigentlich nicht erwarten darf, brauchbare Resultate zu erhalten, wenn man von jedem Standort nur eine Bestimmung ausführt. Man darf sich deshalb nicht so sehr wundern, wenn mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle der Gehalt an schwefliger Säure nicht kontinuierlich abnimmt, sondern gelegentlich wieder höhere Werte auftreten, wo man es nicht erwartet. Auch mögen hier und dort sekundäre Rauchquellen das Resultat beeinflussen. Bezieht man obige Zahlen alle auf die Kunigundenhütte, so stellen sich die Entfernungen der einzelnen Standorte von der Rauchquelle auf Grund der Reuß'schen Karte folgendermaßen:

Forstrevier Kattowitz.

	Entfernung in km ca.	Fichte $BaSO_4$ in g	Kiefer $BaSO_4$ in g	Zuwachsverlust Fichte	Kiefer
Jagen 22	0,500	0,0027	0,0026	80 %	80 %
„ 20	3,100	0,0013	0,0026	70 „	70 „
„ 5	4,250		0,0012		48 „
„ 12	4,250	0,0019	0,0015	60 „	60 „
„ 1	4,500		0,0023		45 „
„ 14	4,750	0,0022		46—49 %	
„ 8	5,100	0,0024	0,0020	45 %	35 „

Forstrevier Brzenzkowitz.

	Entfernung in km ca.	Fichte	Zuwachsverlust
Jagen 25	4,250	0,0024, 0,0063 g $BaSO_4$	45 %
„ 20	5,500	0,0016 g „	40 „
„ 12	5,500	0,0022 g „	36 „
„ 13	5,500	0,0033, 0,0049 „ „	30 „
„ 8	6,000	0,0020 g „	33—40 %
„ 1	8,000	0,0019 g „	14 „

Eine direkte Beziehung zwischen dem Gehalt an schwefliger Säure in den Nadeln und der Entfernung des Standortes von der Rauchquelle ist nicht vorhanden; es ist im Gegenteil sehr überraschend, daß der Unterschied in dem Gehalt so unbedeutend ist, wie er sich erweist, wenn man z. B. die Bestimmungen aus der Entfernung von $^1/_2$ und 5 Kilometern miteinander vergleicht. Auch eine Beziehung zwischen dem Gehalt der Nadeln an schwefliger Säure und den seiner Zeit von Reuß ermittelten Zuwachsverlusten der Stämme besteht nicht, wie die der vorstehenden Tabelle beigefügten Zahlen zeigen. Allerdings darf nicht vergessen werden, daß auch diese Zahlen keine absolute Gültigkeit beanspruchen können.

Die schweflige Säure war bis auf eine Entfernung von 8 Kilometern in den Nadeln aller Standorte nachzuweisen, verhältnismäßig ansehnlich wird ihr Gehalt nur in größerer Nähe einer Rauchquelle in Nadeln, welche bereits einen beschädigten Eindruck machen.

3. Rauchschadengebiet bei Barmen.

Dies Gebiet ist eingehend unter Beifügung von Abbildungen von dem Revierverwalter Baltz[1]) beschrieben worden. Im nachstehenden folge ich seiner Darstellung.

Barmen liegt in einem lang gestreckten, von der Wupper durchflossenen Tal, das von Westsüdwest nach Ostnordost verläuft und von Bergkuppen und Teilen von Höhenzügen eingeschlossen ist, die von einzelnen Bächen durchfurcht werden. Die meisten Fabriken liegen auf der Talsohle, doch kommen auch solche auf den Abdachungen vor und finden sich selbst bis zur Höhe des Plateaus. Da der Abfluß des Rauches außerordentlich erschwert ist, so muß der auf den Abhängen stehende Wald stark leiden. Auch herrschen die Winde aus Süden bis Westen vor, welche auch noch den Rauch der Stadt Elberfeld mit in dieses Tal führen. »Die Bodenausformung ist sehr danach angetan, die Rauchbeschädigung zu begünstigen, da der Abfluß in der Hauptsache nur nach zwei Seiten vor sich geht, was am besten an schönen, klaren Sommer- und Herbstmorgen beobachtet werden kann, wenn man von den rauchfreien Höhen die giftigen, mit den Blicken nicht zu durchdringenden Schwaden sich nach der einen oder anderen Öffnung des Tales wälzen sieht.« So sind im allgemeinen die Verhältnisse des Rauchschadengebietes bei Barmen. Seiner Sendung vom 22. Juli 1903 fügte Herr Revierverwalter Baltz folgende Bemerkungen hinzu: »Die Fichten-, Lärchen- und Weimutskiefernzweige stammen aus dem in meiner Abhandlung im Bilde festgehaltenen Gebiete. Die nächste bedeutende Rauchquelle (Ziegelei) ist 150 Schritte entfernt[2]).

---

[1]) Rauchschaden am Walde. Deutsche Forstzeitung. 15. Bd. 1900, S. 150 u. ff.

[2]) „Im nordöstlichen Teil des Reviers liegt auf dem Südhang ein größerer und einigermaßen geschlossener Waldkomplex, dessen Bestände aus älteren Buchen und Eichen und teilweise aus Kiefern bestehen, die wieder mit einzelnen Eichen, Lärchen, Weimutskiefern, Birken und Vogelbeeren durchstellt sind. Abgesehen von den Rauchmengen, die von den Südwestwinden aus dem Tal hier angetrieben werden, wird diesem Waldteil von einem Gürtel von Schornsteinen zugesetzt, die ca. 15 an der Zahl, denselben eng einschließen.“ Besonders tut sich unter allen Rauchquellen eine Fabrik hervor, welche nicht nur einen großen Kohlenverbrauch hat, sondern welche auch Schwefelsäure produziert, wobei schwefligsaure Dämpfe in die Luft geführt werden. Diese Fabrik liegt ca. 500 m von dem Waldrand entfernt.

»Die umstehende Figur 1 zeigt uns einen Teil des ca. 30jährigen Randes

Die amerikanischen Eichen sind von der am meisten in Frage kommenden Rauchquelle (Brauerei) 450—500 Schritte entfernt und im übrigen werden sie von den Rauchschwaden des Tales überflutet. Sie liegen im Windstrich SW.-NO.

Unter beiden Quellen leiden die Schwarzkiefern, die auffälligerweise mit wenigen Ausnahmen ein frisches Aussehen zeigen.

Die Buchen und die deutschen Eichen stammen aus dem Revierteil, in welchem die Buchen sich schon in allernächster Zeit sichtbar verfärben werden[1]). Diese Lokalität ist außerordentlich gefährdet, da die Barmer Rauchquellen in großer Zahl in unmittelbarer Nähe liegen und der von Elberfeld kommende Schwaden den in Frage kommenden Bergsattel überflutet.«

Von diesen Standorten erhielt ich zweimal im Jahre 1903, am 22. Juli und am 7. September, Sendungen und zwar Zweige der Buche, der Eiche, einer amerikanischen Eiche, der Lärche, Fichte, Weimutskiefer und der Schwarzkiefer, während der zweiten Sendung auch noch Zweige der gemeinen Kiefer beigefügt waren.

Bei der ersten Sendung kamen jedesmal 150 g Blattsubstanz zur Destillation, es wurde aber keine Bestimmung der Feuchtigkeit ausgeführt,

---

eines der nach Norden vorliegenden Säurefabrik preisgegebenen Bestandes, in welchem Fichten, Weimutskiefern und Lärchen, wie es auch auf dem Bilde deutlich erkennbar, am meisten gelitten haben. Die Gipfel der Kronen, die über das Niveau des Kronendachs hinwegragen, sind beinahe vollständig vernichtet, besonders auf der der Fabrik zugewendeten Seite, während die Benadelung dieser Kronen sich dort erhalten hat, wo letztere in den Bestand eintauchen. Die gemeine Kiefer, die hier vorwiegend vertreten ist, ist so erheblichen Beschädigungen nicht unterworfen, obgleich sie sehr zu leiden hat. Figur 2 zeigt uns den Rest einer Fichtengruppe desselben Bestandes, welchem Lebensfähigkeit nicht mehr innewohnt, und Figur 3 den Gipfel einer besonders arg mitgenommenen Weimutskiefer. Die vorhandenen Lärchen, die auf Figur 1 zu erkennen sind, siechen nur so dahin, denn was der Rauch übrig läßt, wird von den Motten aufgefressen. Die einzelnen im Bestande vorhandenen Birken und Eichen, die durch ihre Umgebung geschützt sind, zeigen ein befriedigendes Aussehen. In allen drei Fällen ist aber mit großer Deutlichkeit zu erkennen, daß vorwiegend auf den der Rauchquelle zugewendeten Seiten die Nadelhölzer vernichtet und die Zweige abgebrochen sind. Der Stand ist selbstverständlich infolge der Rauchwirkung vollständig durchbrochen, und im Innern des Bestandes ist die Selbstlichtung so weit vorgeschritten, daß die Abhänge eine baldige Umwandelung nötig machen« (Baltz l. c. S. 152).

[1]) »Wenn man im August, zu welcher Zeit der Wald unter normalen Verhältnissen noch in voller Frische dasteht, den Blick über die mit Eichen durchstellten Buchenbestände schweifen läßt, dann heben sich die Buchen durch die tiefe Bräunung ihrer Blattmassen scharf von den Eichenoasen ab und Anfang September fängt das Laub an zu fallen, so daß die Buchen schon kahl dastehen, wenn an andern Orten an den Blattfall noch nicht gedacht wird« (Baltz l. c. S. 171).

so daß die folgenden Zahlen die gefundene Menge $BaSO_4$ in dem Destillat angeben.

Buche	0,0020 g	0,0025 g
Eiche	0,0016 „	0,0022 „
Amerik. Eiche	0,0050 „	0,0039 „
Lärche	0,0030 „	
Fichte, alte Nadeln	0,0028 „	
„ junge „	0,0031 „	
Weimutskiefer, alte Nadeln	0,0021 „	
„ diesjähr. Nadeln	0,0040 „	
Schwarzkiefer, alte Nadeln	0,0035 „	
„ junge Nadeln	0,0033 „	

Bei der zweiten Sendung wurde der Wassergehalt der Blattorgane bestimmt, so daß der Gehalt an Säure auf Trockensubstanz bezogen werden kann.

Auf 100 g Trockensubstanz berechnet:

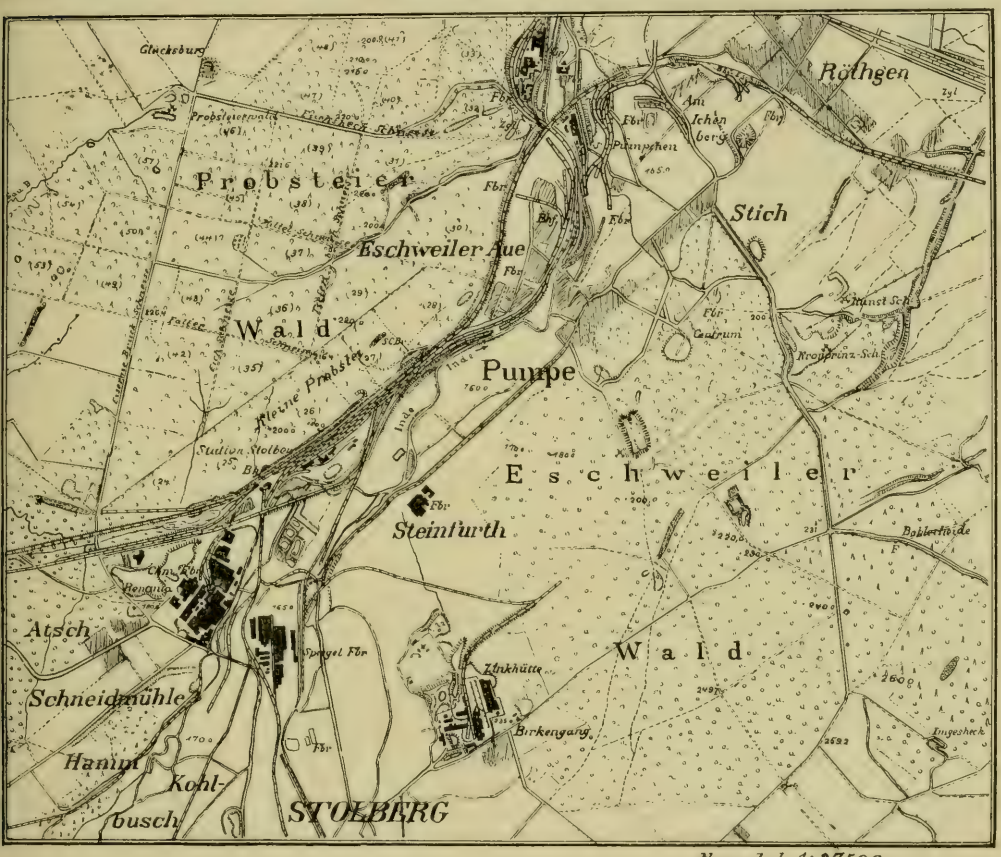
	$BaSO_4$	H_2O
Buche	0,0016 g	23,65 %
Eiche	0,0015 „	39,1 „
Amerik. Eiche	0,0021 „	37 „
Lärche	0,0015 „	42,5 „
Fichte, alte Nadeln	0,0014 „	43,6 „
Weimutskiefer	0,0019 „	42,3 „
Schwarzkiefer	0,0012 „	46,3 „
Gem. Kiefer	0,0017 „	45,2 „

Wenn auch für das Material der ersten Sendung kein Wassergehalt berechnet worden ist, so läßt sich doch erkennen, wenn man etwa einen mittleren Wassergehalt für die verschiedenen Blattorgane in Rechnung stellt, daß die Blätter der ersten Sendung durchgehends mehr schweflige Säure enthalten haben als die der zweiten Sendung. Da die Bestimmung jeder Sendung unter sich gut übereinstimmende Werte geliefert hat, die Bestimmungen außerdem von denselben Persönlichkeiten ausgeführt worden sind, so kann hier kein Zufall im Spiel sein, sondern es muß angenommen werden, entweder daß die Proben von geschützteren Orten entnommen worden sind, oder daß in der Tat die Blattorgane an dem späteren Termin von ihrem Gehalt an schwefliger Säure eingebüßt haben.

Wie aus den Bestimmungen der ersten Sendung hervorgeht, wo von einer Pflanze zwei Destillationen ausgeführt wurden, können erhebliche Unterschiede in dem Säuregehalt eines und desselben Exemplares auftreten.

Auffällig ist, daß die absoluten Werte für den Säuregehalt nicht bedeutender sind, wenn man berücksichtigt, daß ein Teil der Proben starke

Schäden aufwies, und daß die beschädigten Waldteile in sehr geringer Entfernung von den Rauchquellen gelegen sind. Namentlich erscheinen die Werte für die Fichte gering, wenn man damit den Gehalt der Fichtennadeln aus dem Südpark (Kattowitz) mit 0,0072 g und aus Jagen 16 (Brzenskowitz) mit 0,0150 g $BaSO_4$ für 100 g Trockensubstanz vergleicht.



Rauchschadengebiet bei Stolberg i/Rhl.

Abbildung 1.

4. Rauchschadengebiet bei Stolberg i. Rheinland.

A. Eschweilerer Gemeindewald bei der Zinkhütte Birkengang. Siehe Abbildung 1.

Am 8. August wurden Blätter von einer kriechenden Eiche etwa 300 m von der Hütte entfernt (vergl. den Abschnitt: »Die Beschädigung der

Baumvegetation in Rauchschadengebieten«) zur Untersuchung gesammelt. Die Blätter waren stark beschädigt, besaßen vielfach breite rote Ränder und Flecken; ja viele Blätter fielen ab oder waren abgefallen. Die Blätter selbst sind sehr klein, entsprechend dem spärlichen Wuchs der Pflanze.

Es konnten nur 25 g Blattsubstanz zur Untersuchung verwendet und eine Feuchtigkeitsbestimmung nicht ausgeführt werden. Diese 25 g Blattsubstanz lieferten 0,002 g $BaSO_4$.

B. Probsteywald. Siehe Abbildung 1.

1. Am 26. Juli 1903 wurden Blätter einer Buche und einer Eiche aus der kleinen Probstey, wo die Tiefenbachschneise in die kleine Probstey einmündet, und Zweige von jungen Lärchen von der Fuchsheckschneise entnommen. Die Buchen- und Eichenblätter zeigten keine Beschädigungen, während die jungen Nadeln größtenteils gelb oder ganz oder teilweise rot, die älteren Nadeln weniger mitgenommen waren, wenn auch hier Rotspitzigkeit vorkam.

Eiche	100 g	Blattsubstanz	lieferten	0,0016 g	$BaSO_4$
Buche	180 „	„	„	0,0027 „	„
Lärche	100 „	„	„	0,0020 „	„

2. Am 6. August wurden aus der großen Probstey Zweige aus dem Wipfel einer Fichte und einer Birke gepflückt. Die Fichte war ein älterer Baum, welcher an der Schneise stand, die zwischen 44 und 45 von der Eisernen Brückschneise nach dem Pflanzgarten führt. Sie hatte das Aussehen einer Rauchfichte. Vorhanden waren die jüngsten Nadeln, die älteren nur zum Teil. Beschädigungen wiesen die Nadeln nicht auf. Die Birke war ein höherer Baum, welcher in 43 am Rande nach der Eisernen Brückschneise stand. Von unten sahen die Birkenblätter wie umgeschlagen aus, erwiesen sich aber als ganz normal, als ein Zweig aus dem Gipfel heruntergeholt wurde. Von jeder Probe wurden 150 g Blattsubstanz destilliert.

Fichte, junge Nadeln	0,0014 g	$BaSO_4$
„ alte „	0,0015 „	„
Birke	0,0019 „	„

3. Am 21. August 1903 wurden aus der Ecke von 42, wo die Eiserne Brückschneise und die Falterschneise zusammenstoßen, von nebeneinander stehenden Buchen und Eichen Blätter abgepflückt. Die Buchenblätter zeigten bereits den bräunlichen herbstlichen Charakter, während die Eiche normal grün war. An manchen Buchenblättern waren auch rote Ränder und rote Flecken vorhanden. Von jeder Probe wurden 150 g Blätter destilliert.

Buche .	0,0009 g $BaSO_4$	40,50%	Feuchtigkeit
Eiche .	0,0031 „ „	52,00 „	„

4. Am 14. September wurden von einer Buche und einer Eiche hinter der Fuchsheckschneise Blätter entnommen. Die Eichenblätter waren unbeschädigt, die Buchenblätter im allgemeinen auch, nur einige machten einen bräunlichen Eindruck. Es wurden jedesmal 150 g Blattsubstanz benutzt und von jeder Pflanze zwei Bestimmungen ausgeführt.

Buche	0,0025 g $BaSO_4$	0,0022 g $BaSO_4$	47,3 % Feuchtigkeit
Eiche	0,0021 „ „	0,0018 „ „	44,8 „ „

5. Im August wurden einem mehrjährigen Exemplar von Abies Nordmanniana aus dem Pflanzgarten in der großen Probstey (in 44) Nadeln, welche zum Teil beschädigt waren, entnommen, aber erst am 28. September destilliert. Es standen nur 20 g Substanz zur Verfügung, welche bei einem Wassergehalt von 43,5 % 0,0003 g $BaSO_4$ lieferten. Dieser Betrag ist zu gering, um eine sichere Entscheidung zu gestatten, ob hier schweflige Säure vorhanden war.

Überblickt man die vorstehenden Zahlen, so ist bei der Buche und Eiche, von denen Proben aus verschiedenen Entfernungen untersucht wurden, keine Beziehung zwischen dem Gehalt der Blätter an schwefliger Säure und der Entfernung von der Rauchquelle zu erblicken, wie die folgende Zusammenstellung zeigt.

	Entfernung	Buche	Eiche
1.	1200 m	0,0027 g $BaSO_4$	0,0016 g $BaSO_4$
3.	1400 „	0,0009 „ „	0,0031 „ „
4.	2400 „	0,0022 „ „	0,0018 „ „

Es ist weder eine Regel zu finden, wenn man die Eiche mit der Buche vergleicht, noch wenn man die Zahlen untereinander vergleicht. — Ungewöhnlich klein ist der Gehalt an schwefliger Säure bei der Buche in der Entfernung von 1400 m, was wohl auf irgend einen Zufall zurückzuführen ist. Auch zwischen dem Aussehen der Bäume und dem Gehalt ihrer Blattorgane an Säure ist keine Beziehung vorhanden. So enthalten die Fichtennadeln, trotzdem der Baum so mitgenommen aussieht, weniger schweflige Säure als die normal aussehende Birke.

5. Städtische Rauchbeschädigungen.

A. Hamburg.

Die das innere Alsterbassin umgebenden Linden verfärben sich sehr zeitig und lassen auch zeitig ihre Blätter fallen. Falls diese Erscheinung eine Wirkung des Rauches in der Stadt sein sollte, durfte in den Blättern ein verhältnismäßig hoher Säuregehalt erwartet werden. Mir standen Lindenblätter vom 18. Juli und 16. August zur Verfügung, welche vom Neuen Jungfernsteig, aber nicht von denselben Bäumen herrührten;

wider Erwarten enthielten die Blätter der zweiten Sendung, anstatt mehr, weniger Säure als die der ersten. Die Blätter der ersten Sendung waren nicht verfärbt, wenn sie auch schmutzig waren; die Blätter der zweiten Sendung hingegen waren sehr schmutzig und zeigten vielfach rötliche und bräunliche Flecken. Mit der ersten Probe konnten zwei Bestimmungen ausgeführt werden.

80 g Blattsubstanz lieferten . . 0,0044 g $BaSO_4$
100 „ „ „ . . 0,0038 „ „

Von der zweiten Probe wurde eine Bestimmung gemacht, und zwar lieferten 145 g Blätter 0,0016 g $BaSO_4$.

Vermutlich liegen hier nur individuelle Differenzen vor, und es muß dahingestellt bleiben, ob der Gehalt an schwefliger Säure in den Lindenblättern mit fortschreitender Zeit eine Zunahme erfährt.

B. Aachen.

Den ersten Anstoß zur Untersuchung von Blattorganen aus den Anlagen unserer Technischen Hochschule gab der Wunsch, säurefreies Material zu prüfen, als die Bestimmungen mit den Fichtennadeln aus dem Harz ausgeführt wurden, um zu entscheiden, ob nicht vielleicht normalerweise etwas schweflige Säure in den Blättern vorhanden sein könnte. Da die ersten Proben, welche nur qualitativ angestellt wurden, stets einen Gehalt an Säure ergaben, führte ich eine größere Zahl quantitativer Bestimmungen mit Blattorganen verschiedener Pflanzen aus.

1. Fichte. Junger Baum aus dem freien Lande.
   13. Mai 1903. 150 g Nadeln lieferten 0,0013 g $BaSO_4$.
   2. Juli 1903. 150 „ „ „ 0,003 „ „
   7. „ 1903. 150 „ „ „ 0,006 „ „
   10. „ 1903. Je 150 g Nadeln lieferten 0,0025 und 0,0016 g $BaSO_4$.

2. Weimutskiefer. Großer Baum, am 8. und 9. Juli 1903 untersucht. Je 150 g Nadeln lieferten 0,005 und 0,001 g $BaSO_4$.

Ein junges Exemplar in der Nähe der Bibliothek, das sehr beschädigt aussah, indem viele Blätter zum Teil rotgefärbt und abgestorben waren, wurde am 12. September 1903 untersucht. 150 g lieferten 0,0018 g $BaSO_4$.

3. Abies Nordmanniana neben dem Gebäude für Bergbau und Elektrotechnik. Sie hatte sehr viel rotbraune Nadeln, so dass die Vermutung auftauchte, die Beschädigungen könnten vielleicht von schwefliger Säure herrühren. Untersucht am 20. August. 150 g Nadeln lieferten 0,0023 g $BaSO_4$.

4. Buche. Am 4. Juli wurden Blätter einer jungen Buche untersucht. 150 g Blätter lieferten 0,004 g $BaSO_4$. Am 12. September wurden die Blätter einer Buche von einem etwas anderen Standort untersucht. Die Buche sah sehr mitgenommen aus; die Ränder und zum Teil auch die Blattflächen sahen rot und vertrocknet aus. Es wurde gemutmaßt, daß hier schweflige Säure mit im Spiel wäre. 150 g Blätter lieferten 0,001 g $BaSO_4$.

5. Linde. Am 2. Juni wurden 150 g Lindenblätter untersucht. Sie ergaben 0,003 g $BaSO_4$. Am 14. Juli wurde eine zweite Untersuchung mit Lindenblättern ausgeführt. 150 g lieferten 0,0012 g $BaSO_4$.

6. Roßkastanie. Stark beschädigte Blätter wurden auf SO_2 untersucht. 150 g lieferten 0,0009 g $BaSO_4$.

7. Qualitativ wurde die schweflige Säure noch für Epheu und für Acer Pseudoplatanus nachgewiesen.

Trotzdem in allen aus den Anlagen der Technischen Hochschule untersuchten Blattorganen schweflige Säure nachzuweisen war, so wäre es doch unrichtig gewesen, anzunehmen, daß normalerweise in den Blättern der Holzgewächse Säure vorhanden ist. Vielmehr war es wahrscheinlich, daß die Säure aus dem Kohlenrauch der Luft herstammte. Diese Vermutung war um so berechtigter, als in der Nähe der Hochschule der Bahnhof einer in Aachen einmündenden Eisenbahn gelegen ist. Aus dem Rauch der hier verkehrenden Lokomotiven könnte die Säure wohl herrühren, wissen wir doch aus den bei Tharandt gemachten Erfahrungen, daß der Rauch aus der Steinkohlenfeuerung der Lokomotiven unter Mitwirkung günstiger lokaler Verhältnisse sogar die Nadelhölzer vernichten kann[1]). In der Tat hat die Untersuchung von Blättern aus ganz rauchfreier Lage auch die vollkommene Abwesenheit von schwefliger Säure ergeben, und damit ist erwiesen, daß der Säuregehalt in den Pflanzen aus den Anlagen der Technischen Hochschule auf eine Rauchwirkung zurückzuführen ist.

6. Aachener Stadtwald.

Eine vollkommen rauchfreie Lage versprach der Aachener Stadtwald zu sein, ein bewaldeter Hügelrücken, welcher 4 km südlich von Aachen von Nordwesten nach Südosten streicht. Um ganz sicher zu gehen, wurde das zu untersuchende Material auf dem Südabhange gesammelt. Wenn nun auch keine sichtbare Spuren einer Rauchwirkung der Stadt Aachen zu sehen sind, so wäre es doch nicht unmöglich, daß geringe Mengen

---

[1]) Haselhoff und Lindau, l. c. S. 219.

Säure bis zum Stadtwald gelangten. Auf dem Südabhange konnte man hoffen, von derartigen Wirkungen frei zu sein.

Am 18. Mai 1903 wurden Fichtenzweige geholt und die Nadeln destilliert. 300 g Nadeln lieferten 0,0096 g $BaSO_4$. Am 10. Juli wurde von demselben Standorte wieder eine Probe entnommen. 150 g Nadeln lieferten 0,002 g $BaSO_4$. Wider alle Erwartung waren die Nadeln nicht frei von schwefliger Säure, sondern enthielten verhältnismäßig hohe Beträge. Da die in Aachen vorherrschende Windrichtung nicht auf den Stadtwald zusteht, war es nicht wahrscheinlich, daß diese Säure aus Aachen herrührte. Dies mir anfänglich vollständig unverständliche Resultat hat später seine Aufklärung gefunden, als ich darauf aufmerksam gemacht wurde, daß westlich vom Stadtwald in einer Entfernung von $7^1/_2$ km auf belgischem Boden Bleyberg gelegen sei, wo die aus den Gruben geförderten Erze auf Blei verhüttet werden. Diese Auffassung hat eine bedeutsame Stütze in Luftanalysen gewonnen, welche ich auf dem Aussichtsturm ausgeführt habe, und welche im vorletzten Kapitel besprochen werden werden. Während der Südwind dem Turm keine Säure zuführte, brachte der Westwind immerhin noch bedeutende Mengen, welche nur von Bleyberg herrühren können.

7. Kermeter-Forst in der Eifel.

Um säurefreies Material zu erhalten, mußte man sich also noch weiter von menschlichen Wohnungen entfernen. Der Kermeter in der Eifel schien solchen Anforderungen zu entsprechen. Es ist das ein mächtiger Wald, der sich $9^1/_2$ km lang bei einer durchschnittlichen Breite von $3^1/_2$ km zwischen den Flüssen Roer und Urft erstreckt. Nur im Anfange nach Gemünd zu sind einige kleine Ortschaften vorhanden, sonst finden sich nur einige über den Wald verstreute Förstereien. Etwa in der Mitte des Kermeters liegt die Försterei Mariawald. Aus ihrer Nähe erhielt ich durch die Freundlichkeit von Herrn Dr. Merckens in Eschweiler Zweige von Buche, Eiche, Ahorn und Fichte am 6. August 1903 zugeschickt. Die Sendung wurde sofort in Arbeit genommen.

150 g	Buche	lieferten	0,0005 g $BaSO_4$
150 „	Eiche	„	0,0005 „ „
150 „	alte Fichtennadeln	„	0,0002 „ „
150 „	junge „	„	0,0004 „ „
150 „	Ahorn	„	0,0007 „ „

Diese geringen Mengen schwefelsauren Baryums fallen entweder in die Fehlergrenze hinein oder deuten tatsächlich noch einen ganz minimalen Gehalt an schwefliger Säure an, der aus dem Orte Gemünd oder von dem

Bau der Urftalsperre herrühren könnte. Der durchgehends ganz geringe Gehalt in den Blättern läßt den Schluß zu, daß normalerweise in den Blattorganen der Holzgewächse keine schweflige Säure vorhanden ist.

8. Strunden bei Dellbrück im Regierungsbezirk Cöln.

Im August 1903 gelangten Kiefernnadeln aus einem Walde bei Strunden in meinen Besitz, die ich auf schweflige Säure untersuchen lassen konnte. 150 g Nadeln lieferten 0,0002 g $BaSO_4$. Wir dürfen also auch diese Nadeln als säurefrei ansprechen.

Die schweflige Säure kommt normalerweise nicht in den Blattorganen der Holzgewächse vor. Wo sie sich findet, muß sie immer aus einer die Säure enthaltenden Luft entnommen worden sein. Sie läßt sich also nur dort nachweisen, wo schweflige Säure in der Luft vorhanden ist; andererseits muß sie auch in den Blattorganen auftreten, wenn diese in einer säurehaltigen Luft leben. Sie vermögen die Säure in ihren Zellen zu speichern und nehmen umso mehr auf, je reicher die Luft an Säure ist, aber selbst sehr starken Verdünnungen vermögen sie noch nachweisbare Mengen zu entziehen, wie das Auftreten der schwefligen Säure in den Fichten des Stadtwaldes unter dem Einfluß von Bleyberg beweist, das $7^1/_2$ km entfernt ist. Möglicherweise ist die Wirkung von Bleyberg auf noch größere Entfernung zu spüren, nur daß es nicht untersucht worden ist. Es kann sich demnach die schweflige Säure unoxydiert sehr weit verbreiten, und es ist nicht ausgeschlossen, daß die Schwefelsäure, welche Ost[1]) nach seiner Barytmethode auf bedeutende Entfernung von Hannover im Süntel und Wislicenus[2]) nach derselben Methode im Tharander Walde in einer Entfernung von $13^1/_2$ km von der Halsbrücker Esse nachgewiesen hat, als schweflige Säure an diese Orte gelangt ist. Während das Vorhandensein schwefliger Säure in den Blättern ein unantastbarer Beweis ist, daß diese Säure bis zu diesem Punkte gelangt ist, und daß mit einem Gehalt der Luft an ihr gerechnet werden muß, ist es aber noch keineswegs ein Beweis, daß die Pflanzen an dieser Stelle unter der schwefligen Säure leiden, wie die Bäume im Stadtwald zeigen. Vielleicht tritt eine Beschädigung erst bei einem bestimmten Säuregehalt ein, dessen Grenze noch durch Versuche festgestellt werden muß.

---

[1]) Die Verbreitung der Schwefelsäure in der Atmosphäre. Die Chemische Industrie 1901. Bd. 23.

[2]) Nachweis der schwefligen Säure in der Waldluft des Tharander Waldes. Tharander forstl. Jahrb. Bd. 48, S. 173 u. ff.

Der Nachweis der schwefligen Säure in den Blattorganen ist meines Erachtens deshalb von hoher Bedeutung, weil einwandsfrei gezeigt worden ist, daß die schweflige Säure sicher zum Teil als schweflige Säure in die Zellen aufgenommen worden ist, möglicherweise aber zum großen Teil, denn es könnte sein, daß nur ein Teil der eingedrungenen Säure gespeichert, ein anderer Teil nach einiger Zeit in Schwefelsäure übergeführt wird. Mit mehr Berechtigung als bisher wird man den von v. Schroeder und Reuß gewonnenen Standpunkt vertreten dürfen, daß die Wirkung des Rauches vorwiegend eine spezifische Wirkung der schwefligen Säure ist. Damit ist auch die Auffassung von Haselhoff und Lindau als irrig erkannt, daß alle Schädigungen der Schwefelsäure zugeschrieben werden müssen. Durch den Nachweis der schwefligen Säure in den verschiedenen Rauchschadengebieten entnommenen Blätterproben ist schließlich wohl auch für den Ungläubigsten einwandsfrei erwiesen, daß die Aufnahme der sauren Gase in die Blätter durch diese geschieht, und damit findet Borggreves These 19[1]) ihre Erledigung. Dieselbe lautet: »Der auf Stöckhardt und Schröder zurückzuführende Satz, daß wenigstens die schadenerzeugenden Schwefelverbindungen allein oder vorwiegend direkt durch die Blätter aufgenommen würden, ist sicher unrichtig.« Für die Unvoreingenommenen stand die Unrichtigkeit der Borggreve'schen Behauptung bereits nach den Versuchen jener beiden Forscher fest; denn das von ihnen beobachtete Zugrundegehen der Blattorgane, welches bei höherer Konzentration sehr schnell erfolgt, läßt sich nur aus einer direkten Aufnahme des Giftes in die Blätter erklären. Borggreves Forderung in These 24, »Versuche unter völligem Ausschluß der schwefligen Säure von den Schnittflächen der Zweige, den Wurzeln und dem Nährboden der Versuchspflanzen« anzustellen, haben meine Untersuchungen über die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Assimilation Rechnung getragen. Hier konnte ebenso wie bei einer großen Zahl anderer Versuche, welche im Verlaufe dieser Abhandlung mitgeteilt werden werden, die Säure nur durch die Blattorgane eindringen. Was aber in den Versuchen eintritt, muß auch im Freien unter den gleichen Umständen eintreten, und daß es tatsächlich der Fall ist, wird durch den Nachweis der schwefligen Säure in den den Rauchschadengebieten entnommenen Proben erwiesen.

---

[1]) Borggreve, Waldschäden im oberschlesischen Industriebezirk nach ihrer Entstehung durch Hüttenrauch, Insektenfraß usw. Frankfurt a. M., J. D. Sauerländers Verlag. 1895.

Kapitel II.

Die sauren Gase dringen durch die Spaltöffnungen in die Blattorgane ein.

Soll das saure Gas in den Blättern wirksam werden, so muß es in dieselben eindringen. Daß es eindringt, wird durch die Gegenwart der schwefligen Säure in ihnen bewiesen. Übrigens kann man sich leicht durch Versuche davon überzeugen, wenn man die Säure nur in genügender Konzentration einwirken läßt, daß sie eindringt und die Blattsubstanz zerstört. Meinungsverschiedenheiten können nur über den Weg, welchen die Säure einschlägt, bestehen.

Der normale Gasaustausch vollzieht sich in den Blättern durch die Spaltöffnungen hindurch, und man wird von vorne herein erwarten dürfen, daß auch die sauren Gase, welche in der Luft suspendiert sind, diesen Weg einschlagen. Es ist das so selbstverständlich, daß ein Botaniker es wohl schwerlich für notwendig erachtet haben würde, zu prüfen. Es war das auch für v. Schroeder und Reuß die selbstverständliche Voraussetzung, aber gewisse Beobachtungen machten sie stutzig, ob diese Annahme zuträfe, und veranlaßten sie, die Frage für die schweflige Säure von neuem zu prüfen. Sie hatten nämlich gefunden, daß die Menge schwefliger Säure, welche die Blattorgane verschiedener Bäume aufnehmen, in keinem Verhältnis zu der Zahl der Spaltöffnungen steht. Besonders scheint ein Versuch mit Petasites vulgaris Desf. für die Auffassung der beiden Forscher und für ihre fernere Untersuchung bestimmend geworden zu sein[1]). Gleiche Blattausschnitte wurden einerseits mit ihrer spaltöffnungslosen Blattoberseite, andererseits mit der große Spaltöffnungen führenden Unterseite einer Atmosphäre von schwefliger Säure ausgesetzt. Nach gleicher Einwirkungsdauer wurden die Blattausschnitte auf den Gehalt an Schwefelsäure untersucht. Durch die Blattoberseite waren auf 1000 qcm Blattfläche berechnet 0,0252 g, durch die Blattunterseite 0,0244 g Schwefelsäure aufgenommen worden. Ein wesentlicher Unterschied ist hinsichtlich der Aufnahme der

[1]) l. c. S. 71.

schwefligen Säure zwischen Blattoberseite und Blattunterseite demnach nicht vorhanden, das Fehlen der Spaltöffnungen auf der Oberseite hindert das Eindringen des Gases in die Blattsubstanz nicht. Unverkennbar ist diese Beobachtung die Grundlage für die heute herrschende Anschauung, daß die Säure ebenso leicht durch die Epidermiswand wie durch die Spaltöffnungen eindringt. Man wird den beiden Forschern wohl schwerlich den Vorwurf ersparen können, daß dieser Schluß auf ein viel zu geringes Beobachtungsmaterial aufgebaut worden ist, und daß es sich hier um eine zufällige Erscheinung handeln könnte, welche anders erklärt werden muß, als es geschehen ist. Bei diesem Versuche haben v. Schroeder und Reuß eine Beobachtung gemacht, welche sie zu einer eingehenden Prüfung des obigen Schlusses hätte bestimmen müssen. »Hierbei zeigte sich aber, soweit man die Wirkung der schwefligen Säure mit dem Auge schätzen konnte, die Desorganisation bei denjenigen Blättern, die mit der Unterseite exponiert waren, viel stärker als bei den anderen. Erstere waren vollständig fahl und hatten stellenweise eine schmutzig bräunliche Färbung angenommen. Letztere unterschieden sich von gesunden Blättern höchstens durch ein etwas matteres Grün« (S. 71). Das Gesamtergebnis dieser Versuche mit Petasites ist also: freilich dringen gleiche Mengen schweflige Säure von der Ober- wie von der Unterseite ein, aber schädlich wird sie nur, wenn sie von der Unterseite eindringt. Hierin soll sich nach unseren Forschern eine größere Empfindlichkeit der Unterseite aussprechen. Auch wieder eine große Unklarheit! Man ist doch berechtigt anzunehmen, daß die Blattausschnitte, welche einen gleichen Gehalt an Schwefelsäure ergaben, diese Säure in dem ganzen Mesophyll verteilt enthalten, ob sie von der Oberseite oder durch die Spaltöffnungen von der Unterseite als schweflige Säure eindringt; man darf deshalb die Schädigung in beiden Fällen als gleich erwarten. Auch verwechseln unsere Autoren Eindringen von der Unterseite und Beschädigen der Unterseite miteinander; denn es ist nirgends gesagt, daß die an den Blättern beobachtete stärkere Beschädigung, wenn die Säure von der Unterseite eingedrungen war, auf die Unterseite beschränkt geblieben war, z. B. auf die Epidermis der Unterseite und das Schwammparenchym.

Diese »scheinbar größere Empfindlichkeit der Blattunterseite« bei Petasites, welche aber mit Unrecht als solche aufgefaßt wurde, hat die Verfasser bestimmt, eine größere Reihe von Pflanzen, deren Blätter nur auf der Unterseite Spaltöffnungen tragen, auf ihr Verhalten gegen schweflige Säure zu prüfen. Es war ein Apparat konstruiert worden, in dem zwei Blätter nebeneinander, das eine mit der Ober-, das andere mit der Unterseite der Einwirkung der gleichen schwefligen Säure ausgesetzt werden konnte. Nach kürzerer oder längerer Zeit wurde die anfangs gleiche

Färbung der beiden Blätter verschieden und nahm dasjenige, welches der schwefligen Säure mit der Unterseite zugekehrt war, auf der kreisförmigen Einwirkungsstelle eine mehr oder weniger fahlgrüne Färbung an, während das andere Blatt noch unversehrt erschien. »In diesem Zustande konnte den Blättern, wenn sie aus der Verbindung mit dem Apparat herausgenommen waren, mit Leichtigkeit auf den ersten Blick angesehen werden, ob die schweflige Säure von der oberen oder unteren Seite eingewirkt hatte. Es genügte dabei in den allermeisten Fällen schon die Einwirkungszeit von einer Stunde« (S. 74). Damit war unseren Autoren die große Empfindlichkeit der Blattunterseite gegen schweflige Säure erwiesen. Dieser irrige Schluß hat wieder andere irrige Auffassungen im Gefolge gehabt. Es sollte »diejenige Funktion, welche ganz vorherrschend von der mit Spaltöffnungen besetzten Blattunterfläche ausgeübt wird, bei Einwirkung des Gases auf die ganze Pflanze gestört und in ihrem Verlaufe verändert sein. Diese Funktion ist die Wasserverdunstung und die angestellten Versuche bestätigten die betreffende Vermutung vollkommen.«

Diese Versuche, auf welche ich später näher eingehen werde, sind meines Erachtens nach auch unrichtig gedeutet worden und haben zu Konsequenzen wie der Hartig'schen Theorie[1]), die sich als falsch herausgestellt hat, geführt. Das Absterben der Schließzellen bei der Fichtennadel, während das übrige Gewebe gesund bleibt, sollte die v. Schroeder und Reuß gefundene Depression der Transpiration erklären, und aus ihr sollte sich eine Verminderung der Assimilation ableiten. Die Störung der normalen Ernährungsverhältnisse sollte schließlich zum Tode der Nadeln führen.

Die mit dem erwähnten Apparat ausgeführten Versuche über die Empfindlichkeit der Blattober- und Blattunterseite gegen schweflige Säure, bei denen das Blatt unversehrt blieb, wenn die spaltöffnungsfreie Oberseite der Säure ausgesetzt wurde, lassen meines Erachtens keinen anderen Schluß zu, als daß die Säure durch die Spaltöffnungen eindringt. Wenn sie von der Oberseite eindringen würde, müßte das Blatt ebenso gut leiden, wie wenn sie von der Unterseite eindringt. Da für diese Versuche hohe Säurekonzentrationen in Anwendung kamen, was daraus hervorgeht, daß sich bereits nach einer Stunde die Einwirkung der Säure bei den Blättern, welche ihr mit der Unterseite ausgesetzt waren, bemerkbar machte, hätte auch die Blattsubstanz leiden müssen, wenn die Säure durch die spaltöffnungsfreie Oberhaut ebenso leicht eindringen kann, wie durch die Spaltöffnungen. Da das nicht geschieht, dringt sie eben nicht durch die Oberhaut ein. Ebenso ist der Versuch mit Petasites zu deuten. Dagegen spricht das

[1]) R. Hartig, Über die Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauches auf die Gesundheit der Nadelwaldbäume. München 1896.

Resultat der Analyse, der gleiche Gehalt an Schwefelsäure, ob das Blatt mit der Ober- oder Unterseite exponiert worden war. Der Gehalt an Schwefelsäure ist nur in dem einen Versuch mit Petasites bestimmt worden. Wie es sich in den anderen Fällen verhalten hat, wissen wir nicht. Diese eine Bestimmung ist eine viel zu ungenügende Grundlage, um darauf wichtige Schlüsse aufzubauen, denn wenn durch irgend einen Irrtum, wenn auch nur durch einen Schreibfehler, die eine Zahl falsch ist, stürzt der ganze künstliche Aufbau zusammen. Eine Erklärung für den gleichen Gehalt an Schwefelsäure in den Petasitesblättern vermag ich nicht zu geben, wenn ich nicht meine Zuflucht zu falschen Bestimmungen nehmen will.

Nun will ich nicht leugnen, daß bei hohen Konzentrationen, wie sie in den Versuchen von v. Schroeder und Reuß zur Anwendung kamen, auch schweflige Säure durch die Membranen der Epidermis dringen kann, jedenfalls aber sehr viel langsamer als durch die Spaltöffnungen, und dies Eindringen durch die Membran wird gar keine Rolle spielen, wenn geringe Konzentrationen, wie sie beim Rauchschaden im Spiele sind, einwirken.

Obgleich ich von der Unrichtigkeit der v. Schroeder-Reuß'schen Schlußfolgerung überzeugt war, mir ihre Versuche selbst zugunsten meiner eigenen Auffassung zu sprechen schienen, so erachtete ich es doch für zweckmäßig, durch eigene Versuche den Nachweis zu führen, daß die sauren Gase ebenso wie Sauerstoff und Kohlensäure durch die Spaltöffnungen eindringen. Das Ergebnis dieser Versuche beschränkt sich natürlich nicht auf die schweflige Säure, sondern muß für alle gasförmigen Säuren Geltung haben. Mit Rücksicht darauf habe ich denn auch teilweise die Versuche mit schwefliger Säure, teilweise mit Salzsäure ausgeführt.

Die Versuchsanstellung war eine sehr einfache. Es wurden Zweige vorwiegend von Gewächsen benutzt, deren Blätter nur auf der Unterseite Spaltöffnungen haben. An ihnen wurden einige Blätter auf der Unterseite mit einer Mischung von 1 Teil Bienenwachs und 3 Teilen Kakaobutter, welche unschädlich[1]) ist, überzogen. Als Kriterium für das Eindringen der Säure diente das Auftreten von Injektionen, welche später näher besprochen werden sollen, und von Beschädigungen. Schon im Jahre 1896 habe ich einen Versuch mit der Buche angestellt. Am 9. September wurde ein Zweig, der mit seiner Schnittfläche im Wasser stand, drei Stunden lang unter einer Glasglocke dem Einfluß schwefliger Säure, welche sich durch Abdunsten wässeriger Säure entwickelte, ausgesetzt. Drei Blätter waren mit der Wachsmischung auf der Unterseite bestrichen. In mehreren nicht bestrichenen Blättern waren bald, nachdem der Zweig

[1]) Stahl, Bot. Ztg. 1894.

aus der Glocke herausgenommen worden war, Injektionen aufgetreten. Am 10. September Mittags waren nur noch in einem Blatte Injektionen vorhanden. Mit Ausnahme der drei bestrichenen sind die Blätter verfärbt und glanzlos geworden; die bestrichenen Blätter haben niemals Injektionen aufgewiesen und sind normal grün geblieben. Auch am 12. September mittags, als der Versuch abgebrochen wurde, waren sie unverändert grün.

Bei diesem Versuch war ich nicht imstande gewesen, den Säuregehalt der Luft zu bestimmen. Mit Hilfe verbesserter Einrichtungen habe ich in den Jahren 1902 und 1903 noch einige Versuche mit sommer- und immergrünen Laubhölzern und mit schwefliger und mit Salzsäure ausgeführt. Die Zweige wurden unter eine auf einer Glasplatte hermetisch schließenden Glasglocke gebracht, durch welche mittels der Wasserstrahlluftpumpe Luft durchgesogen werden konnte, dem ein bestimmtes Quantum Säure beigemischt war. Die Zweige standen entweder mit ihren Schnittflächen in Gläsern mit Wasser, und so sind die Versuche aus dem Jahre 1903 angestellt worden, oder sie waren mit einem Gummistopfen luftdicht in ein zentrales Loch in der Glasplatte eingesetzt und tauchten außerhalb des Apparates in Wasser (s. Abbildung 7).

Versuche mit schwefliger Säure.

Buche. Es wurden 5 Versuche mit Buchenzweigen ausgeführt, die beiden ersten im Dunkeln, die drei anderen im diffusen Lichte des Laboratoriums.

Versuch 1. 10. Oktober 1902. Versuchsdauer von $11^3/_4$—$6^3/_4$ Uhr. Temperatur 18°. Säurekonzentration der Luft 1 : 50 900.

Bei Beendigung des Versuches waren weder Injektionen noch Beschädigungen aufgetreten. Der Zweig verblieb während der Nacht unter der Glocke. Am folgenden Morgen zeigten alle Blätter Injektionen mit Ausnahme der unterseits bestrichenen. Als die Mischung abgelöst wurde, waren auch keine Injektionen wahrzunehmen.

Versuch 2. 11. Oktober. Versuchsdauer von 1—$11^1/_2$ Uhr nachmittags. Säurekonzentration in der Luft 1 : 38 400. Nach Beendigung des Versuches verbleibt der Zweig unter der Glocke. Abends sind in manchen Blättern Injektionen aufgetreten. Am folgenden Morgen sind in allen Blättern mit Ausnahme der drei Blätter an der Spitze des Sprosses und der unterseits bestrichenen Blätter Injektionen vorhanden. Beschädigungen noch nicht wahrnehmbar.

Versuch 3. 11. Oktober. Versuchsdauer von $12^1/_4$—$11^1/_2$ Uhr nachmittags. Säurekonzentration in der Luft 1 : 103 000. Bei Beendigung des Versuches sind nicht in allen Blättern Injektionen aufgetreten. Am folgenden

Tage um 11 Uhr morgens sind alle Blätter mit Ausnahme der unterseits bestrichenen injiziert, während Beschädigungen noch nicht wahrnehmbar sind.

Versuch 4. 16. Oktober. Versuchsdauer von 12—6¼ Uhr nachmittags. Säurekonzentration in der Luft 1 : 28 800. Bei Beendigung des Versuches weder Injektionen noch Beschädigungen vorhanden. Der Zweig verbleibt die Nacht über unter der Glocke. Am anderen Morgen weisen alle Blätter mit Ausnahme der unterseits bestrichenen Injektionen auf.

Versuch 5. 18. Oktober. Versuchsdauer von 9 Uhr 20 Min. vormittags bis 6 Uhr 10 Min. nachmittags. Säurekonzentration 1 : 48 000. Bei Beendigung des Versuches keine Veränderung an den Blättern. Der Zweig verbleibt bis zum 20. Oktober unter der Glocke. Alsdann sind alle Blätter mit Ausnahme der unterseits bestrichenen injiziert.

Nach Beendigung der Versuche sind die Zweige aus den Versuchen 3—5 noch längere Zeit beobachtet worden. Ihr weiteres Verhalten ist vollkommen übereinstimmend. Etwa 24 Stunden nach dem Auftreten der Injektionen hatten sich die Blätter mit Ausnahme der unterseits bestrichenen dunkel olivgrün gefärbt, und diese Verfärbung nahm in den nächsten Tagen noch zu, während die bestrichenen Blätter ihre normale grüne Färbung bewahrten. Mit der Zeit verfärbten sie sich auch, sie nahmen aber die typische herbstliche Gelbfärbung an und waren noch turgeszent, als die anderen Blätter schon lange vertrocknet waren.

Prunus Laurocerasus. 21. Oktober 1902. Versuchsdauer von 10 Uhr vormittags bis 7 Uhr nachmittags. Diffuses Tageslicht. Säurekonzentration in der Luft 1 : 46 700. Am folgenden Morgen sind alle Blätter mit Ausnahme der auf der Unterseite bestrichenen stark beschädigt.

Bei den folgenden Versuchen aus dem Jahre 1903 sind gleichzeitig mehrere Zweige in den Apparat gestellt worden.

I. Je ein Zweig von Pappel, Hainbuche, Ahorn und Eiche. 13. Juli. Versuchsdauer 2 Stunden, Temperatur 21—22° C. Säurekonzentration 1 : 7600. Bei der Herausnahme waren keine Beschädigungen zu beobachten. Eine Stunde später waren Beschädigungen vorhanden: bei der Pappel sind mit Ausnahme der bestrichenen Blätter sämtliche verletzt, an den bestrichenen sind Beschädigungen an den Spitzen aufgetreten. Beim Ahorn sind die bestrichenen Blätter unverletzt, die nicht bestrichenen stark beschädigt. Es sind nicht nur starke Injektionen zu beobachten, sondern auch braune Flecken aufgetreten. An der Eiche sind sogar alle Blätter mit Ausnahme der bestrichenen verdorrt. Die Hainbuche ist wenig lädiert, aber die Beschädigungen sind nur an den nicht bestrichenen Blättern aufgetreten.

II. Je ein Zweig von Weide, wildem Wein, Linde, Erle, Haselnuß. 13. Juli nachmittags. Versuchsdauer 2 Stunden. Temperatur 24°. Säurekonzentration 1 : 6100.

Bei Beendigung des Versuches sind keine Beschädigungen vorhanden. Eine Stunde später: bei der Weide sind die bestrichenen Blätter unverletzt, während die anderen braune Flecken haben und vertrocknet sind. Beim wilden Wein ist ziemlich alles beschädigt, mit Ausnahme eines jungen Blattes und der bestrichenen Blätter. Die Linde ist ziemlich angegriffen, Injektionen sind aufgetreten. Die bestrichenen Blätter sind unversehrt. An der Erle ist kaum eine Beschädigung zu bemerken. An der Haselnuß ist nichts beschädigt.

14. Juli 9 Uhr vormittags: Weide ist ganz welk und stark verfärbt, die bestrichenen Blätter sind unbeschädigt. Wilder Wein ist ganz verdorrt, mit Ausnahme der jungen und der bestrichenen Blätter. Linde: Blätter stark zusammengerollt. Starke Injektion. Die bestrichenen Blätter sind normal. Erle: Wenige und kleine Flecken, mitunter nur Punkte. Die bestrichenen Blätter sind normal. Haselnuß: Große braune Flecken auf den nicht bestrichenen Blättern.

15. Juli nachmittags. Wilder Wein: alle nicht bestrichenen Blätter zugrunde gegangen. Weide: Alle nicht bestrichenen Blätter sind vertrocknet, die bestrichenen haben geringe Flecken, wahrscheinlich ist an diesen Stellen nicht genügend Fett gewesen. Linde: Die nicht bestrichenen Blätter alle vertrocknet, die bestrichenen sind noch schön grün. Erle: Die nicht bestrichenen Blätter vertrocknet oder welk, alle stark beschädigt. Die bestrichenen schön grün. Haselnuß: Alle nicht bestrichenen Blätter vertrocknet, die bestrichenen schön grün.

III. 14. Juli vormittags. Je ein Zweig von Eiche, Hainbuche, Ahorn und Broussonetia papyrifera werden zwei Stunden lang bei einer Temperatur von 24—26° C der Einwirkung von schwefliger Säure (1 : 7000) ausgesetzt.

Nach Beendigung des Versuches ist an der Eiche ein junges Blatt zusammengerollt aber nicht verfärbt. Es waren alte Blätter und ein neues bestrichen worden, an den älteren war teils die ganze Rückseite, teils nur die Hälfte derselben bestrichen worden. Ahorn: Flecken auf den nicht bestrichenen Blättern. Ein Teil der bestrichenen Blätter war zur Hälfte, ein Teil ganz bestrichen worden. Hainbuche: Die Blätter waren bestrichen wie bei voriger Pflanze. Keine Beschädigungen. Broussonetia: Flecken auf den nicht bestrichenen Blättern. Ein Teil der bestrichenen Blätter war ganz, ein Teil halb auf der Rückseite bestrichen.

Eine Stunde später: Eiche: Wenig beschädigt, aber Injektionen. Das junge bestrichene Blatt beschädigt. Ahorn: Mit Ausnahme

der bestrichenen Blätter haben die Blätter zahlreiche und starke Flecken oder sind verdorrt. Hainbuche: Injektionen aufgetreten. Keine Beschädigungen. Broussonetia: Große Flecken, aber nicht auf den bestrichenen Blättern.

15. Juli nachmittags. Eiche: Die jungen nicht bestrichenen Blätter vertrocknet, das junge bestrichene Blatt stark beschädigt. Ahorn: Mit Ausnahme der bestrichenen Blätter alle beschädigt, die meisten bereits stark verdorrt. Hainbuche: Beschädigungen an den Rändern der nicht bestrichenen und an den Rändern der bestrichenen, wo nicht ausreichend Fett hingekommen war. Broussonetia: Beschädigungen in Form von Flecken auf den bestrichenen und unbestrichenen Blättern.

IV. 14. Juli nachmittags. $1^1/_2$ Stunden lang der Einwirkung von schwefliger Säure (1 : 6300) ausgesetzt je ein Zweig von Pappel, Birke, Weide, Linde (Blätter ganz und halb auf der Unterseite bestrichen).

Nach Beendigung des Versuches: Nur bei Pappel und Linde gelbgrüne kleine Flecken auf den nicht bestrichenen Blättern oder Blatthälften.

Eine Stunde nach Beendigung des Versuches. Pappel: Braune Flecken und Injektionen. Birke: Manche Blätter stark beschädigt, manche wenig, die bestrichenen alle normal. Weide: Ziemlich große Flecken auf den nicht bestrichenen Blättern, von den bestrichenen waren rings herum die Ränder gefärbt. Linde: Die unbestrichenen Blätter stark beschädigt und ganz welk; die bestrichenen Blätter sind frisch und unbeschädigt.

15. Juli vormittags (nach 14 Stunden). Pappel: Wenig mehr angegriffen als zuvor. Injektionen noch vorhanden. Die mit Fett bestrichenen Blätter waren zum Teil beschädigt, namentlich die jüngsten. Birke: Unverändert. Weide: Die nicht bestrichenen Blätter sehr stark angegriffen, die bestrichenen sind normal grün. Linde: Viele Flecken, mehr als am Tage vorher; die bestrichenen normal grün.

15. Juli nachmittags. Pappel: Es sind auch Flecken auf den bestrichenen Blättern aufgetreten. Birke: Starke Injektionen. Verfärbungen an allen nicht bestrichenen Blättern oder Blatthälften. Weide: Alle nicht bestrichenen Blätter beschädigt und vertrocknet. Linde: Die bestrichenen Blätter oder Blatthälften nicht angegriffen.

V. 15. Juli vormittags. Je ein Zweig von Pappel und Weide werden zwei Stunden lang bei 22—23° C der Einwirkung schwefliger Säure (1 : 6500) ausgesetzt.

Bei Beendigung des Versuches war an der Pappel nur ein junges bestrichenes Blatt beschädigt, alles andere war gesund, bei der Weide traten an den nicht bestrichenen Blättern Injektionen auf.

15. Juli nachmittags. Pappel: Alles beschädigt, gleichgültig, ob bestrichen oder nicht. Weide: Alle Blätter, welche bestrichen gewesen, sind gesund.

Versuche mit Salzsäure.

Prunus Laurocerasus. Versuch 1. Am 23. Oktober 1902 von 10 Uhr 25 Min. bis 6 Uhr 45 Min. im Lichte der Einwirkung von Salzsäure ausgesetzt (1 : 17200).

24. Oktober morgens. An den bestrichenen drei Blättern keine Beschädigungen, von den übrigen Blättern sind die meisten beschädigt.

Versuch 2. Am 26. Oktober 1902 von 11 Uhr 10 Min bis 6 Uhr 10 Min. hat im Licht konzentrierte Salzsäure eingewirkt. Schon um 3 Uhr nachmittags starke Beschädigungen an allen Blättern mit Ausnahme der zwei unterseitig bestrichenen. Die Beschädigungen nahmen im weiteren Verlaufe der Versuche an Umfang zu.

27. Oktober Morgens. Alle nicht bestrichenen Blätter vollkommen gelbbraun. Am Rande der bestrichenen Blätter einzelne kleine Flecken; hier hat der Überzug die Blattfläche nicht ganz gedeckt. Unter der Einwirkung der Säure ist der ganze Zweig morsch geworden.

Hedera helix. Am 30. Oktober 1902 wirkte im Halbdunkel von 4 Uhr 15 Min. bis 6 Uhr 20 Min. konzentrierte reine Salzsäure ein.

Am 31. Oktober waren die unbestrichenen Blätter beschädigt, die bestrichenen unbeschädigt.

Ilex aquifolium. Am 3. November 1902 wirkte im Halbdunkel von 11 Uhr 30 Min bis 5 Uhr 50 Min. reine konzentrierte Salzsäure ein.

4. November morgens. Die unbestrichenen Blätter sind beschädigt und fallen bei Berührung ab; die bestrichenen Blätter sind unbeschädigt und haften am Stengel.

Rhododendron. Am 4. November 1902 wirkte im Halbdunkel von 4 Uhr bis 7 Uhr 20 Min. reine konzentrierte Salzsäure.

5. November morgens. Die unbestrichenen Blätter sind beschädigt, die bestrichenen unbeschädigt.

Die fünf im Jahre 1903 mit schwefliger Säure angestellten Versuche wurden mit verhältnismäßig hohen Konzentrationen ausgeführt in der Voraussetzung, daß, wenn die Säure bei dieser Konzentration nicht durch die Epidermiswand eindringt, sie sicher auch bei schwacher Konzentration nicht eindringt. Die Anwendung von Konzentrationen wie 1 : 7600 bis 1 : 6100 gestattete auch eine Abkürzungung der Einwirkungsdauer auf $1^1/_2$—2 Stunden. Die Ergebnisse aller meiner mit schwefliger Säure und Salzsäure ausgeführten Versuche stehen in guter Übereinstimmung miteinander. Treten an den nichtbestrichenen Blättern Injektionen oder Be-

schädigungen auf, so bleiben sie in der Regel an den bestrichenen Blättern aus. Gelegentlich sieht man kleine Beschädigungen an der Spitze und am Rande der bestrichenen Blätter auftreten; hier war der Anstrich auf der Unterseite nicht vollkommen genug. Etwas anders liegen die Verhältnisse bei Eiche, Pappel und Broussonetia papyrifera. Von den beiden Versuchen mit der Eiche ergab der erste ein ganz präzises Resultat; die Säure dringt nicht von der Oberseite aus ein. Im zweiten Versuche war ein Zweig benutzt worden, welcher einen Johannestrieb besaß, sodaß ältere und ganz junge Blätter gleichzeitig untersucht werden konnten. Hier traten auch Beschädigungen an den bestrichenen jungen Blättern auf, die allerdings geringer waren als bei den nichtbestrichenen. Bei den jugendlichen Eichenblättern kann die Säure also auch durch die Epidermiswand eindringen, und das mag vielleicht auch für andere jugendliche Blätter gelten. Es darf aber nicht unbeachtet bleiben, daß es sich in diesem Versuch um eine sehr hohe Konzentration handelte, welche im Freien nie auftritt.

In allen drei mit der Pappel ausgeführten Versuchen traten bald größere, bald geringere Beschädigungen auch auf den bestrichenen Blättern auf, wenn sie auch erheblich geringer sind, als auf den nichtbestrichenen. Dies Ergebnis schien der Annahme, daß die Säure nur durch die Spaltöffnungen eindringt, zu widersprechen. Der Widerspruch ist aber nur ein scheinbarer. Die mikroskopische Untersuchung zeigt nämlich, daß das Pappelblatt auch auf der Oberseite zahlreiche Spaltöffnungen trägt. Auf dieselbe Ursache ist die Beschädigung der bestrichenen Blätter bei Broussonetia papyrifera zurückzuführen.

Aus allen meinen Versuchen geht hervor, daß die Säure der Hauptsache nach durch die Spaltöffnungen eindringt, bei den ausgewachsenen Blättern ausschließlich, bei jugendlichen vielleicht auch durch die Membran der Oberhaut, wenn die Konzentration hoch genug ist. Aber selbst in diesen Fällen erfolgt das Eindringen durch die Membran erheblich langsamer als durch die Spaltöffnungen. Praktisch, d. h. bei Einwirkung von Rauch, dürfte nur das Eindringen durch die Spaltöffnungen in Frage kommen, da die Verdünnung der Säure in der Luft sehr bedeutend ist. Es braucht wohl kaum besonders hervorgehoben zu werden, daß das Gesagte nur für solche Pflanzen gilt, welche Blätter mit offenen oder verschließbaren Spaltöffnungen besitzen. Wo sie dauernd geschlossen sind, müssen auch die sauren Gase ebenso wie Sauerstoff und Kohlensäure durch die Membran der Oberhaut hindurchdringen. Ganz allgemein gesprochen, werden wir behaupten dürfen, daß die sauren Gase dieselben Wege einschlagen müssen wie Sauerstoff und Kohlensäure, um in das Mesophyll des Blattes zu gelangen.

Die Unrichtigkeit der Untersuchung von v. Schroeder und Reuß ist übrigens schon vor mir von F. Oliver[1]) dargetan worden. Er hat, wie es scheint, seine Versuche in derselben Weise ausgeführt wie jene Forscher, ist dabei aber zu einem ganz anderen Resultat gekommen. »Während in den von mir untersuchten Fällen das Mesophyll sehr schnell von unten her angegriffen wird, finde ich, daß die Wirkung von oben her außerordentlich langsam ist; in dem letzteren Falle hat die Dicke der Cuticula einen entscheidenden Einfluß. Bei stark kutikularisierten Blättern tritt keine Beschädigung auf, wenn die Oberseite so lange der Säure ausgesetzt wird, wie für die vollständige Zerstörung des Blattes ausreicht, wenn die Unterseite der Säure ausgesetzt gewesen wäre. Bei weichen, nicht kutikularisierten oder sehr schwach kutikularisierten Blättern ist natürlich das Ergebnis ein sehr verschiedenes. Dennoch dient die Oberhaut immer als Hemmnis für eine sehr schnelle Wirkung, wo die Spaltöffnungen auf der Oberseite fehlen. Wenn das benutzte Blatt auf beiden Seiten Spaltöffnungen besitzt, so ist die Ungleichheit in der beobachteten Wirkung geringer, obgleich letztere in den meisten Fällen durch die Unterseite hindurch schneller ist.« Aus der histologischen Untersuchung einer großen Zahl Blätter der verschiedensten Arten schließt er, daß die schweflige Säure sehr geschwind durch die Spaltöffnungen hindurch das Innere des Blattes erreicht.

In neuerer Zeit hat Borggreve[2]) auf den wunden Punkt in der Argumentation von v. Schroeder und Reuß und auf das Unzulängliche ihrer Versuche hingewiesen. Trotz derartiger Kritiken wird von Haselhoff und Lindau[3]) ohne weitere experimentelle Nachprüfung das alte Dogma weiter verkündet. Auch die Untersuchung von Wislicenus über die »Resistenz der Fichte gegen saure Rauchgase bei ruhender und bei tätiger Assimilation«[4]) wird als Stütze dieses Dogmas herangezogen. Nun konnte kein unglücklicheres Beispiel als dieses gewählt werden, und um das zu beweisen, muß ich kurz auf die Versuche eingehen.

Wislicenus ließ im Sommer auf zwei Reihen Topffichten im Räucherhause die gleiche Konzentration schweflige Säure einwirken, auf die eine tagsüber, auf die andere während der Nacht, jedesmal gleich lange. Am Ende des zwei Monate dauernden Versuches wurden die Fichten analysiert. Die Tagpflanzen enthielten 0,420, die Nachtpflanzen 0,421 % Schwefelsäure, auf Trockensubstanz bezogen. Nicht beräucherte Kontroll-

[1]) On the effects of urban fog upon cultivated plants. The Journ. of the Roy. Hortic. Soc. Part I Vol XVI, London 1893, S. 23 d. S. A.

[2]) l. c. S. 93.

[3]) l. c. S. 126.

[4]) Tharander forstliches Jahrbuch, Bd. 48.

pflanzen enthielten nur 0,245 % Schwefelsäure. Hieraus folgern Haselhoff und Lindau, daß die Spaltöffnungen bei Aufnahme der Säure durch die Nadeln keine Rolle spielen, da gleichviel Säure bei offenen (Tag) wie bei geschlossenen Spaltöffnungen (Nacht) aufgenommen worden ist. Aber das Analysenergebnis läßt auch die gerade entgegengesetzte Deutung zu. Die Spaltöffnungen könnten Tag und Nacht offen gewesen sein. Wir wissen aus den Untersuchungen, namentlich von Leitgeb[1]), daß auf die Öffnung der Spalte nicht ausschließlich das Licht Einfluß hat, sondern auch die Feuchtigkeit, ja daß diese für viele Pflanzen von viel größerer Bedeutung als das Licht ist. Auch die Fichte könnte zu denjenigen Pflanzen gehören, deren Spalten sich vorwiegend auf Feuchtigkeitsdifferenzen öffnen und schließen; denn über den Spaltöffnungsmechanismus dieser Pflanzen sind wir sehr mangelhaft unterrichtet. Während man nach den Angaben von Schwendener[2]) und Haberlandt[3]) annehmen muß, daß die Schließzellen beweglich sind, erwähnt Schwabach[4]), niemals offene Spaltöffnungen gefunden zu haben, trotzdem er während zweier Sommer alte wie junge Nadeln daraufhin untersucht hat. Sollte also die Fichte stets geschlossene Spaltöffnungen haben, so muß das Gas durch die Membran der Oberhaut eindringen, und es ist nur natürlich, daß in den Tag- und Nachtpflanzen die gleiche Menge Schwefelsäure gefunden wurde; dann aber ist diese Pflanze gar nicht für die zur Diskussion stehende Frage zu verwenden.

Nun hat Wislicenus aber noch einen weiteren Versuch mit der Fichte ausgeführt. In derselben Weise wie im Sommer wurde eine Reihe Topfpflanzen während der gleichen Zeit im Winter mit derselben Konzentration beräuchert. Nach Beendigung des Versuches wurden die Nadeln dieser Pflanzen und der Kontrollpflanzen analysiert. Die ersteren enthielten 0,483, die letzteren 0,405 % Schwefelsäure, auf Trockensubstanz bezogen. Demnach hat die Säure in den beräucherten Nadeln nur unerheblich zugenommen. Nach v. Schroeder und Reuß und nach Haselhoff und Lindau hätte die Zunahme gegenüber den Kontrollpflanzen genau soviel betragen müssen, wie bei den Pflanzen aus den Sommerversuchen, da die Säure durch die Membranen eindringen soll. Unter keinen Umständen sind also die Untersuchungen von Wislicenus zugunsten der

---

[1]) Beiträge zur Physiologie des Spaltöffnungsapparates. — Mitteilungen aus dem Bot. Institut zu Graz, 1888, S. 123ff.

[2]) Über Bau und Mechanik der Spaltöffnungen. — Sitzungsber. d. Berliner Akademie 1881.

[3]) Physiologische Pflanzenanatomie, 2. Aufl. 1896.

[4]) Zur Entwicklung der Spaltöffnungen bei Koniferen. Ber. d. d. botan. Ges., Bd. 20.

v. Schroeder-Reuß'schen Auffassung zu verwerten. Aber auch, wenn man die Beweglichkeit des Spaltöffnungsapparates annimmt, bleibt ein unlöslicher Widerspruch in diesen Untersuchungen. Die unbedeutende Säuremenge, welche von den Winterpflanzen aufgenommen worden ist, müßte einen Schluß der Spaltöffnungen andeuten; dann muß man sich aber wieder fragen, warum schließen sich im Sommer während der Nacht die Spaltöffnungen nicht, da sie doch verstellbar sind. Es bliebe nichts anderes übrig, als anzunehmen, daß die Spaltöffnungen im Winter aus uns noch unbekannten Gründen geschlossen sind. Nun will ja Stahl[1]) in der Tat derartiges bei den immergrünen Gewächsen unseres Klimas gefunden haben. Aber allgemein gültig ist das nicht, denn sonst hätte ich nicht gerade im Winter mit der Fichte Assimilationsversuche bei künstlicher Beleuchtung ausführen können. Auch habe ich bei denselben den Eindruck gewonnen, als ob die Spaltöffnungen beweglich sein müßten.

Aus diesen Erörterungen dürfte wohl hervorgehen, daß man gut daran tut, auf die Untersuchungen von Wislicenus keine zu weitgehenden Schlüsse hinsichtlich der Beteiligung der Spaltöffnungen an der Säureaufnahme der Blätter zu ziehen. Man darf nicht vergessen, daß sich alle Schlüsse nur auf 4 Analysenergebnisse aufbauen können, von denen jedes einzelne ohne Kontrolle ist. Mich erinnnern diese Verhältnisse an den Versuch mit Petasites, wo aus zwei übereinstimmenden Analysen allen direkten abweichenden Beobachtungen zum Trotz irrige Schlüsse von großer Tragweite gezogen worden sind. Es liegt mir ganz fern, hinsichtlich der Wislicenus'schen Untersuchung die Sorgfalt des Analytikers irgendwie verdächtigen zu wollen, aber ich gebe zu erwägen, ob sich nicht bei den Winterversuchen ein Irrtum eingeschlichen haben kann. Mich macht immer der hohe Gehalt der winterlichen Kontrollpflanzen an Schwefelsäure stutzig.

	Sommerpflanzen	Winterpflanzen
Tagpflanzen . . .	0,420 % SO_3	0,483 %
Nachtpflanzen . .	0,421 „ „	
Kontrollpflanze . .	0,245 „ „	0,405 „

Es ist doch sehr wahrscheinlich, daß die Winterpflanzen von derselben Gruppe von Pflanzen stammen wie die Sommerpflanzen, man müßte für sie dann auch annähernd den gleichen Gehalt an Schwefelsäure erwarten. In den Winterkontrollpflanzen ist er aber erheblich höher. Man setze für diese den Wert der Sommerkontrollpflanzen ein und alles klappt. Die Winterpflanzen hätten ungefähr ebensoviel Säure aufgenommen wie die Sommerpflanzen in dem gleichen Zeitraum, was ihnen ebenso

[1]) Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. Bot. Ztg. 1894.

wenig geschadet hätte wie den Nachtpflanzen im Sommer. Da sich alle diese Pflanzen immer in einer sehr feuchten Atmosphäre im Räucherhause befunden haben müssen, stände der Annahme, daß die Spaltöffnungen offen gewesen wären, nichts im Wege.

v. Schroeder und Reuß sind in ihrer Auffassung, daß die Säure ebenso leicht durch die Zellwände wie durch die Spaltöffnungen in das Innere der Blätter eindringt, ganz wesentlich durch die Tatsache bestärkt worden, daß sich zwischen der Menge der aufgenommenen Säure und der Zahl der Spaltöffnungen auf 1 □ mm bei verschiedenen Pflanzenarten kein Parallelismus feststellen ließ (S. 70). Einen solchen Parallelismus ist man vielleicht gar nicht berechtigt zu erwarten, da außer der Zahl der Spalten auch ihre jeweilige Weite für die Säureaufnahme entscheidend ist. Auch mag die aufzunehmende Menge mit dem Speicherungsvermögen der Zellen in Beziehung stehen. Unter gleichen Umständen muß aber das Eindringen der Säure durch die größere Zahl von Spaltöffnungen begünstigt werden, was ja denn auch durch meine eigenen Versuche mit der Pappel und Broussonetia papyrifera eine Betätigung gefunden hat, wo bei Eindringen der Säure von der Oberseite, wo weniger Spaltöffnungen vorhanden sind, die Beschädigung geringer ausfällt.

In ähnlichem Sinne, wie eine große Zahl von Spaltöffnungen, muß auch die größere Weite der Spalten dem Eindringen der Säure Vorschub leisten. Unter sonst gleichen Umständen muß bei weiten Spalten mehr Säure eindringen können als bei engen. Hierauf beruhen längst bekannte Erscheinungen, welche aber eine befriedigende Erklärung nicht finden konnten, so lange man die den Spaltöffnungen zukommende Bedeutung für das Eindringen der Säure nicht anerkennen wollte. »Es ist eine bekannte Tatsache, daß Hüttenrauch bei feuchtem nebligem Wetter am verderblichsten wirkt, während selbst deutlich wahrnehmbare Mengen von schwefliger Säure bei trockner Luft viel geringeren Schaden verursachen[1]).« Stöckhardt, Freytag und v. Schroeder haben diese Tatsache noch durch besondere Versuche erhärtet, deren Ergebnisse bei Haselhoff und Lindau[1]) zusammengestellt sind. Unter der Voraussetzung, daß die Säure durch die Membranen der Oberhaut ebenso leicht wie durch die Spaltöffnungen in das Blatt eindringt, war sie völlig unverständlich. Sie findet aber leicht eine Erklärung, wenn die Säure lediglich durch die Spaltöffnungen eindringen kann. In trockner Luft schließen oder verengen sich die Spalten, in feuchter Luft aber öffnen oder erweitern sie sich. In letzterem Falle kann natürlich mehr Gas in das Blatt eindringen als im

[1]) Haselhoff und Lindau, l. c. S. 134.

ersteren. Da die Empfindlichkeit der Zellen dieselbe geblieben ist, müssen die Schäden größer werden.

Auch die Steigerung der Säurewirkung durch das Licht[1]) ist wenigstens zum Teil mit der Rolle in Zusammenhang zu bringen, welche die Spaltöffnungen als Eingangspforten für die Säure spielen. Gegenüber der Dunkelheit bewirkt das Licht ein Öffnen der Spalten. Bei ausreichender Feuchtigkeit öffnen sie sich um so mehr, je stärker die Beleuchtung ist. Ist die Luft nicht gar zu trocken, so werden im allgemeinen im Lichte die Spalten weiter geöffnet sein als im Dunkeln, wodurch das Eindringen der Säure erleichtert wird. Hierauf beruht wohl hauptsächlich die nachteilige Wirkung des Lichtes.

Entsprechend dem Verhalten der Spaltöffnungen muß der höchste schädigende Einfluß der Säure auftreten, wenn sich hohe Feuchtigkeit mit starker Beleuchtung paart, also, wie Haselhoff und Lindau ganz richtig hervorheben, nach Regenfällen an heißen, sonnigen Tagen, ferner nach Nebel in den Morgenstunden. Feuchtigkeit und Licht können sich aber auch gleichsam gegenseitig aufheben. So kann die Einwirkung der Säure in der Nacht bedeutender sein als am Tage, wenn jene sehr feucht, dieser sehr trocken ist.

Selbstverständlich gelten diese Darlegungen nur für die Pflanzen mit beweglichen Schließzellen. Wo die Spaltöffnungen dauernd geschlossen oder geöffnet sind, kann sich der geschilderte Einfluß der Luftfeuchtigkeit und des Lichtes nicht bemerkbar machen. Bei diesen Pflanzen wird der Grad der Schädigung der nämliche in feuchter wie in trockner Luft, in Dunkelheit wie im Hellen sein.

---

[1]) l. c. S. 130.

Kapitel III.

Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen.

Die eigenartige Natur der schwefligen Säure, reduzierend zu wirken und sich leicht aldehydartigen Körpern anzulagern, neben den Eigenschaften, welche sie mit anderen Säuren gemein hat, läßt von vorneherein vermuten, daß sie und nicht Schwefelsäure im Rauch der eigentlich schädigende Faktor ist. Diese besonders von v. Schroeder und Reuß vertretene Ansicht hat eine sehr wesentliche Stütze durch den von mir geführten Nachweis erhalten, daß schweflige Säure in den beräucherten Blättern vorhanden ist. Tatsächlich dringt die schweflige Säure in die Zellen ein und muß dort als solche zur Wirkung kommen. Daneben wird sich immer Schwefelsäure vorfinden; eine vollkommene Ausschließung derselben ist unmöglich. Es ist auch niemals mit Sicherheit festzustellen, welchen Anteil an der Schädigung der Blattorgane die eine und die andere Säure hat. Es ist aber für jede Untersuchung über die Rauchwirkung auf die Vegetation entscheidend, ob man der schwefligen Säure oder der Schwefelsäure den wichtigsten Anteil an der schädlichen Wirkung zuschreibt. Wenn man wie Haselhoff und Lindau auf dem Standpunkt steht, daß die Säure als Schwefelsäure wirkt, so muß man natürlich seine Versuche, wenn man die Wirkungsweise des Rauches erklären will, mit Schwefelsäure und nicht mit schwefliger Säure ausführen. Da ich aber auf dem v. Schroeder-Reuß'schen Standpunkte stehe, habe ich, um die Wirkungsweise des Rauches beurteilen zu können, meine Untersuchungen mit der schwefligen Säure ausgeführt. Unsere Kenntnis von den Wirkungen dieser Säure auf die Pflanze war, als ich anfing, mich mit diesem Gegenstande zu beschäftigen, sehr oberflächlich und lückenhaft. Es war notwendig, die Beziehung der schwefligen Säure zu den verschiedenen Funktionen der Pflanze kennen zu lernen, denn die Vorgänge, welche sich in einem Rauchschadengebiet abspielen, scheinen sehr komplizierter Natur

zu sein und lassen sich nicht befriedigend aus der Eigenschaft der Säure, Zellen zu töten, erklären.

Das Absterben der Zellen ist natürlich an eine bestimmte Konzentration gebunden, aber es fehlt an zuverlässigen Angaben, welches die Grenzkonzentration für die verschiedenen Pflanzenarten ist, die ja vielleicht mit der Einwirkungsdauer schwanken könnte. Noch mangelhafter sind wir darüber unterrichtet, ob und welche Wirkungen über diese Konzentrationen hinausgehende Verdünnungen auf die Pflanzen ausüben. Aus dem Umstande, daß sie keine sofort in die Augen springende Veränderungen an den Blattorganen hervorrufen, darf nicht gefolgert werden, daß sie wirkungslos bleiben. Es ist sogar sehr wahrscheinlich, daß gerade die starken Verdünnungen die eine oder andere Funktion der Blattorgane beeinflussen, da die nachteiligen Wirkungen des Rauches sich auf sehr weite Entfernungen von der Rauchquelle hin bemerkbar machen, wo die Säure bereits stark verdünnt sein muß.

Unter diesen Gesichtspunkten ist die nachstehende Untersuchung über die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen ausgeführt worden. Alle Versuche wurden so angestellt, daß den Pflanzenteilen die schweflige Säure in Gasform zugeführt wurde, in welcher Form sie die Pflanzen meistens im Freien trifft, indem sie zusammen mit den anderen Gasen der Atmosphäre durch die Spaltöffnungen in das Innere der Blätter eindringt. Meine Untersuchungen beschäftigen sich also nicht mit der Einwirkung gelöster Säure. Auch diese kann im Freien vorkommen. Direkt oder mit Regenwasser oder Schnee gelangt sie in den Erdboden und könnte hier als Lösung auf die Wurzeln wirken. Mit Tau, Regen, Schnee und Reif kommt sie gleichfalls in gelöster Form mit den Blattorganen in Berührung und ebenso, wenn die Blätter etwa Blutungswasser ausscheiden. Wenn von dieser gelösten Säure wirklich, wie man angenommen hat, eine bedeutsame Wirkung ausgehen sollte, so würde sie doch, strenge genommen, nicht in den Rahmen unserer Untersuchung fallen, da die geringe Menge gelöster schwefliger Säure wohl schnell in Schwefelsäure übergehen wird und zwar eher, als sie in das Innere der Zellen gelangt, da die Diffusion durch die Cuticula und die äußere Epidermiswand hindurch nur langsam erfolgen kann. Ich würde diese Beziehung ganz übergangen haben, wenn man nicht gerade von der Wirkung der gelösten Säure so viel Aufhebens gemacht hätte und auch heute noch vielfach der Glaube verbreitet wäre, daß ihr in der Tat eine wichtige Rolle zufalle.

Eine schädigende Wirkung der im Wasser des Bodens gelösten Säure auf das Wurzelsystem anzunehmen, hat man schon zeitig aufgegeben, teils auf Grund chemischer Erwägungen, teils auf Grund besonderer Ver-

suche. Nur Borggreve[1]) hielt bis auf die Gegenwart an der Vorstellung fest, freilich ohne jeglichen Beweis, daß die Säure aus dem Boden von der Pflanze aufgenommen werde und auf diesem Umwege in die Blätter gelange. Wäre das zutreffend, müßte sie zunächst einmal den Wurzeln schaden. Aber dieser ganze Gedanke ist verfehlt und unrichtig. Dahingegen wird eine große Bedeutung auch von den andern Forschern der Einwirkung gelöster Säure auf die Blätter beigemessen. Selbst v. Schroeder und Reuß[2]) erkennen an, daß das tropfbar flüssige Wasser auf den Blattorganen die schädlichen Wirkungen der Säure in hohem Maße befördert, wenn sie auch gegenüber der bis dahin verbreiteten Auffassung, daß dies die einzige Schädigungsform sei, betonen, daß die Säure auch als Gas in die Blätter eindringe und dort analoge Beschädigungen hervorrufe. Da sie bei ihren Versuchen Beschädigungen durch die gelöste Säure oft beobachtet haben, nahmen sie an, daß diese auch im Freien oft vorkommen, und sie glaubten, sie als Korrosionen von den anderen Beschädigungen unterscheiden zu müssen, welche ihnen als Symptome einer im gesammten Blatt vorhandenen Krankheit erschienen.

Die Korrosionen vertrugen sich sehr gut mit der gesamten Auffassung unserer beiden Forscher von dem Eindringen der Säure in die Blattorgane. Wenn schon das Gas leicht durch die Epidermiswand hindurchdringt, um wieviel leichter muß die Säure eindringen, wenn sie in Wasser gelöst auf der Epidermis steht. Wunderbarerweise hat man gerade diesen Gesichtspunkt nicht geltend gemacht, sondern man hat sich vorgestellt, daß die Säure durch Verdunsten angereichert und dann gleichsam ätzend wie starke Säure auf die Blattsubstanz einwirken würde. Nun, die vorausgesetzte große Permeabilität der Membran für Säure ist nicht vorhanden und die Anreicherung der Säure durch Verdunsten des Wassers kann auch keine nennenswerte Konzentration herbeiführen. Die meisten Blätter sind auf der Oberseite garnicht benetzbar; Wassertropfen, mögen es Tau- oder Regentropfen sein, können sich nur an bevorzugten Stellen halten. Die Tautropfen sind möglicherweise reicher an Säure als die Regentropfen, denn diese werden erst hängen bleiben, wenn der Regen aufhört und die meiste Säure aus der Luft herabgerissen ist. Und nun vergegenwärtige man sich, wie gering der Gehalt der Luft an Säure ist, und wie wenig erst ein kleiner Regentropfen enthalten kann. Freilich bleibt zwischen und an den Blättern eine ganze Menge Wasser sitzen, wovon man sich überzeugen kann, wenn man nach dem Regen einen Baum oder Strauch schüttelt, aber auf das einzelne Blatt entfällt doch

[1]) l. c. S. 88, 181.
[2]) l. c. S. 79/80.

nur ein geringes Quantum. Es wäre aber ganz ausreichend, wenn der Gehalt an Säure ein bedeutender wäre. Nur unter ganz besonders günstigen Umständen können auf diesem Wege nennenswerte Korrosionen auftreten. Wir brauchen uns aber gar nicht mit allgemeinen Erwägungen zu begnügen, sondern es liegen tatsächliche Angaben vor, welche die ganze Ansicht als unbegründet erscheinen lassen. So hat Stahlschmidt[1]) gelegentlich eines Gutachtens den folgenden Versuch ausgeführt.

An einem heißen sonnigen Tage wurden die Blätter von Eiche, Pappel, Haselstaude, Rotbuche, Esche, Weide, Geisblatt, Kartoffel, Hafer, Farnkraut, Heidekraut und Brombeere mit einer reinen schwefelsäurefreien Lösung von schwefliger Säure von 0,4 % mit einem Refraichisseur besprengt, so daß sich die Lösung wie ein feiner Staubregen über die Blätter ergoß. Da es sehr heiß war, verdunstete das Wasser sehr schnell. Waren die Blätter trocken geworden, so wurde das Besprengen wiederholt und so fünfmal hintereinander verfahren. Weder an demselben Tage noch an dem folgenden konnte irgend eine Beschädigung der Blätter wahrgenommen werden, und als sie vorsichtig mit destilliertem Wasser abgewaschen wurden, ließ sich in diesem auch keine Schwefelsäure nachweisen. Wenn nun schon bei dieser Behandlung die Konzentration von 0,4 % schwefliger Säure keinen Einfluß ausübt, so müssen die im Regenwasser vorhandenen Säuremengen erst recht unschädlich sein. Haselhoff und Lindau[2]) entnehme ich eine Angabe von Freytag über den Gehalt des Regenwassers bei Stolberg im Jahre 1876. Er belief sich im Mittel auf 0,0031—0,0194 g Schwefelsäure im Liter; dem höchsten Betrage würden also 0,0155 g SO_2 entsprechen, was etwa $^1/_{300}$ der von Stahlschmidt in seinem Versuch benutzten Konzentration ausmacht.

Etwas bedeutender mag der Einfluß des säurehaltigen Schnees sein, der in München nach 16 Tagen in 1 l Wasser 0,0915 g Schwefelsäure enthielt, da hier eine längere Berührung mit den Blattorganen der immergrünen Gewächse möglich ist. Aber ich glaube, daß man sich auch in diesem Falle hüten muß, die Wirkung zu überschätzen. Welchen Gehalt an Säure Tautropfen aufnehmen können, ist wohl niemals untersucht worden; dasselbe gilt auch für das von manchen Pflanzen bei feuchter Luft ausgeschiedene Blutungswasser. In allen diesen Fällen könnten höchstens ganz kleine Beschädigungen infolge der Anreicherung der Säure auftreten, wenn sie nicht, wie in dem Stahlschmidt'schen Versuche, ganz verschwindet. Die Versuche geben, weil sie immer unter viel zu günstigen

---

[1]) Experten-Gutachten in Sachen der Gemeinde »Würselen« contra Aktien-Gesellschaft »Chemische Fabrik Rhenania« S. 11.

[2]) l. c. S. 42.

Umständen angestellt sind, hinsichtlich dieses Punktes ein fehlerhaftes Bild. Das habe ich wieder bei der schädigenden Wirkung von Blutungswasser feststellen können. Sieben Stunden lang war über Keimpflanzen von Roggen und Weizen schweflige Säure geleitet worden, bei Beginn des Versuches in einem Verhältnis zur Luft wie 1 : 20000, am Schluß wie 1 : 28000. Hierbei nahmen nur die Roggenpflanzen Schaden. Die Konzentration mußte auf 1 : 10000 steigen, ehe analoge Beschädigungen an den Weizenpflanzen auftraten. Da die Versuchspflanzen während des ganzen Versuches und darüber hinaus unter einer Glocke standen, in welcher eine verhältnismäßig hohe Feuchtigkeit herrschte, so konnten sie ununterbrochen bluten. Die Beschädigungen sind denn auch durch die im Blutungswasser gelöste Säure hervorgerufen worden, was daraus hervorgeht, daß sie nur so weit abwärts an den Blättern reichen, wie das Blutungswasser geflossen war. Ähnliche Ergebnisse erhielt ich mit Keimpflanzen von Helianthus annuus, welche in analoger Weise mit Säure behandelt worden waren. Der Gehalt des Blutungswassers an Säure wurde nicht bestimmt, wird aber hoch gewesen sein. In das zarte Gewebe der jugendlichen Organe kann die Säure natürlich verhältnismäßig leicht eindringen. Im Freien sind meines Erachtens nach so bedeutende Beschädigungen durch das Blutungswasser nicht möglich, da es aus der Luft niemals so große Säuremengen aufnehmen kann, wie in unseren Versuchen, immerhin darf mit Beschädigungen durch dasselbe gerechnet werden.

Wenn man sich die Bedingungen vergegenwärtigt, unter welchen die gelöste Säure auf die Blattorgane einwirkt, so muß man zu dem Schluß kommen, daß sie nur ganz unbedeutende fleckenartige Beschädigungen hervorrufen kann, und daß diese Korrosionen nur ausnahmsweise größeren Umfang annehmen können. Wo Blattsubstanz in größerem Umfange durch die Säure zerstört wird, liegt eine Wirkung gasförmiger Säure vor, und sehr viele Beschädigungen, welche von Gutachtern, ja vielleicht von v. Schroeder und Reuß selbst als Korrosionen aufgefaßt worden sind, sind sicher keine gewesen. In Rauchschadengebieten besteht die größte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Korrosionen in der Nähe der Rauchquelle, weil hier der Gehalt der Luft an Säure am größten ist. Je höher dieser ist, um so größer ist natürlich auch die Gefahr, daß das Gas in die Blätter eindringt. Wo günstige Verhältnisse für das Auftreten von Korrosionen vorhanden sind, sind jedenfalls noch günstigere Verhältnisse für das Auftreten von Beschädigungen durch gasförmige Säure gegeben. Die Korrosionen sind deshalb, vielleicht mit Ausnahme der durch Reif und Schnee hervorgerufenen, vollständig gegenstandslos; alle Rauchbeschädigungen werden durch gasförmige Säure hervorgerufen. Man sollte die Bezeichnung »Korrosionen« ganz fallen lassen oder auf alle mit Absterben

von Zellen verbundene Beschädigungen durch Säure übertragen; dazu wäre man vollkommen berechtigt, da makroskopisch ein Unterschied zwischen beiden Arten der Beschädigung nicht vorhanden sein kann. Nur einer sehr subtilen mikroskopischen Untersuchung, die praktisch unausführbar ist, könnte eine Unterscheidung gelingen. Dem Wesen nach ist zwischen beiden Beschädigungsarten kein Unterschied vorhanden. Die gasförmige Säure kann in die Zelle auch nur eindringen, indem sie von dem Wasser, welches Plasma und Zellwände durchtränkt, gelöst wird. Ob die Lösung an der Schwelle der Zelle stattfindet oder vorher stattgefunden hat, ist für das Endergebnis gleichgültig.

Praktisch ist der Unterschied zwischen Korrosionen und den anderen mit dem Absterben der Zellen verbundenen Beschädigungen längst gefallen, man sollte ihn auch theoretisch fallen lassen. v. Schroeder und Reuß unterscheiden akute und chronische Beschädigungen der Pflanzen, aber sie haben mit Unrecht den Unterschied zwischen beiden in eine Wirkung gasförmiger und gelöster Stoffe gelegt. Der eigentliche Unterschied zwischen beiden Beschädigungsarten liegt ganz wo anders. Bei den chronischen Beschädigungen wird, sagen wir einmal, das Spiel der Funktionen der betreffenden Pflanzen in einer uns unbekannten Weise durch sehr verdünnte Säure derartig beeinflußt, daß sie leiden und eventuell zugrunde gehen, während bei den akuten Beschädigungen in kurzer Zeit durch verhältnismäßig hohe Säurekonzentrationen die Zellen zum Absterben gebracht werden. Diese im erweiterten Sinne als Korrosionen zu bezeichnenden Beschädigungen finden sich deshalb nur bis zu einer geringen Entfernung der Rauchquelle und treten vielfach überhaupt nicht auf[1]), wenn die Säurekonzentration nicht hoch genug ist. Wo sich die Korrosionen finden, sind sie ein sicheres Anzeichen, daß wenigstens bis hierher der Rauch seine nachteilige Wirkung äußert, sie kann sich selbstverständlich aber viel weiter erstrecken.

Da aber auch durch andere Ursachen Blattsubstanz zum Absterben gebracht werden kann, muß man die Korrosionen sicher von diesen Beschädigungen unterscheiden können, was zu einer vielfachen Beschäftigung mit den Korrosionen geführt hat; denn wäre es z. B. möglich, durch bestimmte anatomische Charaktere die Korrosionen als solche zu erkennen, so würde das für die Rauchschadenexpertise sehr wertvoll sein. Im folgenden Abschnitt habe ich mich mit dem Auftreten und den anatomischen Verhältnissen der Korrosionen beschäftigt, während die späteren Abschnitte von der Wirkung verdünnter Säure auf die verschiedenen Funktionen der Pflanzen handeln werden.

[1]) Oster, s. Anhang; Reuß, Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Winckler-schen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz. 1893. S. 20; Borggreve, l. c. S. 183, These 44.

I. Die Korrosionen im weiteren Sinne.

Zum Verständnis der Wirkungsweise der schwefligen Säure ist es wichtig zu wissen, bei welcher Konzentration die Zellen des Pflanzenteils, welche von der Säure getroffen werden, absterben. Vermutlich ist das für verschiedene Pflanzenteile und für verschiedene Pflanzenarten verschieden. Auch die Dauer der Einwirkung wird nicht belanglos sein. Eingehende Angaben liegen darüber nicht vor; was bekannt ist, ist bei Haselhoff und Lindau zusammengestellt. Vielfach sind unverkennbar das Auftreten der Beschädigungen, d. h. die Widerstandsfähigkeit der Blattzellen und die Widerstandsfähigkeit der betreffenden Pflanzenart nicht scharf auseinander gehalten worden. Die Widerstandsfähigkeit der Blattzellen wird spezifisch verschieden sein, d. h. bei der einen Art werden bereits Beschädigungen auftreten, während sie noch bei der anderen ausbleiben, natürlich immer unter der Voraussetzung, daß in beiden Fällen die Einwirkungsdauer der Säure die gleiche gewesen ist. Nach diesem Gesichtspunkt habe ich nun versucht, über die celluläre Widerstandsfähigkeit verschiedener Pflanzenteile bei verschiedenen Pflanzenarten präzise Angaben zu erhalten. Absolute Werte kann man dabei natürlich nicht erhalten, und meine Zahlen beziehen sich alle auf eine verhältnismäßig kurze Einwirkungsdauer. Bei langer Einwirkungsdauer würden sich die Verhältnisse komplizieren, da ja auch die verschiedenen Funktionen der Pflanze beeinflußt werden, es also zweifelhaft bleiben würde, ob das Absterben der Zellen eine direkte Säurewirkung ist.

Die Widerstandsfähigkeit der pflanzlichen Organe gegen schweflige Säure.

Die Versuche wurden so ausgeführt, daß die auf ihre Widerstandsfähigkeit zu prüfenden oberirdischen Pflanzenteile unter eine Glasglocke gebracht wurden, durch welche mittels einer Wasserstrahlluftpumpe schweflige Säure haltende Luft durchgesogen wurde. Zuerst passierte die Luft einen Gasmesser, um die Geschwindigkeit des Luftstromes genau regulieren zu können, dann trat sie in eine schwefelsäurehaltige Woulf'sche Flasche ein, in welche eine titrierte Lösung von schwefligsaurem Natrium tropfte. Die Glocke wurde luftdicht der Glasplatte aufgesetzt, nachdem die Versuchsobjekte eingeschlossen worden waren, also z. B. Zweige, welche mit ihren Schnittflächen in Wasser standen, und kleinere Pflanzen in Töpfen. Ein Teil der Versuche mit Baumzweigen (Nr. 34, 55, 57, 58) war so angestellt worden, daß ihre Schnittflächen außerhalb des Apparates in Wasser

tauchten. Anstatt der gewöhnlichen Glasplatte war eine Glasplatte mit einem großen zentralen Loch gewählt worden. Der Zweig wurde durch einen Gummistopfen gesteckt, mit welchem dies Loch verschlossen wurde (vergl. auch Abb. 7). Dieselbe Versuchsanstellung kam auch in Anwendung, wenn die Wurzeln auf die Einwirkung der Säure untersucht wurden. Die Pflanzen waren aus Samen in mit feuchtem Sande gefüllten großen Trichtern gezogen worden. Als die Wurzeln in die Trichterröhre eindrangen, wurden sie zu dem Versuch benutzt. Der Trichter wurde luftdicht in den Gummistopfen, mit dem das Loch in der Glasplatte verschlossen war, eingesetzt, das Trichterrohr durch einen Gummischlauch mit der Woulf'schen Flasche verbunden, so daß die Säure gezwungen war, die Wurzeln zu passieren (Versuch Nr. 2, 3, 60). — Als Versuchsobjekte dienten Keimpflanzen, krautige Pflanzen, Baumzweige, bewurzelte Holzpflanzen und Blüten.

Der größere Teil der Versuche wurde im Zimmer, also im diffusen Lichte, ein Teil im Sonnenlichte und ein Teil im Dunkeln ausgeführt. Wenn die Temperatur nicht angegeben ist, herrschte normale Zimmertemperatur. Bei den Versuchen im Sonnenlichte wurde zweckentsprechend schattiert.

1. Versuche mit Keimpflanzen.

1. Versuche mit Weizen- und Roggenkeimlingen in Töpfen mit feuchtem Sand. Es waren einige Blätter an den Keimpflanzen vorhanden.

A. Je ein Topf mit Weizen- und Roggenkeimlingen. Die Pflanzen bluteten stark aus der Spitze der Blätter. Die Einwirkungsdauer der Säure betrug 7 Stunden, die Temperatur 14—15° C, die Säurekonzentration zu Anfang des Versuches 1 : 20000, am Ende 1 : 28200. Am Abend bei Beendigung des Versuches war keine Beschädigung zu sehen, am folgenden Morgen waren die Weizenpflanzen unbeschädigt, während die Roggenpflanzen an der Spitze gelitten hatten. Augenscheinlich war das Blutungswasser Schuld, daß sich die Schädigung mehrere Zentimeter nach abwärts erstreckte.

B. An Stelle der beschädigten Roggenpflanzen wurde nun ein Topf mit unverletzten Pflanzen hineingesetzt. Der Versuch dauerte 8 Stunden. Die Säurekonzentration betrug im Beginne 1 : 31800, am Schlusse des Versuches 1 : 50000. Beschädigungen waren weder bei Beendigung des Versuches noch am folgenden Morgen wahrzunehmen. Nun wurde der

C. Versuch mit höherer Konzentration fortgesetzt. Er dauerte wieder 7 Stunden, die Temperatur betrug 15° C, die Säurekonzentration am Anfange 1 : 8500, am Ende 1 : 10250. Beschädigungen sind erst am

folgenden Morgen, aber sowohl an den Weizen- wie an den Roggenkeimlingen aufgetreten.

Nach diesen drei Versuchen zu urteilen sind die Roggenkeimpflanzen empfindlicher als die Weizenkeimlinge.

2. Versuch mit Maiskeimpflanzen im Trichter zur Prüfung der Empfindlichkeit der Wurzeln und der oberirdischen Teile.

A. Versuchsdauer $7^1/_4$ Stunde. Temperatur 15—16° C. Die Säurekonzentration betrug im Beginne 1 : 11900, am Ende des Versuches 1 : 14000. Nach Beendigung des Versuches und am anderen Morgen waren an den oberirdischen Teilen keine Beschädigungen zu sehen; die Wurzeln wurden nicht geprüft.

B. Fortsetzung des Versuches A. Versuchsdauer $8^1/_4$ Stunden. Temperatur 14° C. Säurekonzentration im Beginne 1 : 6600, am Ende 1 : 9600. Die oberirdischen Teile sind beschädigt, die Wurzeln nicht.

3. Versuche mit Erbsenkeimlingen in Trichtern. Die Pflanzen waren so groß, daß die Wurzeln den Sand durchwachsen hatten und in die Trichterröhre hineinwuchsen. Sie waren also der Einwirkung der Säure stark ausgesetzt; auch konnte man feststellen, ob die Säure gewirkt hatte, ohne daß die Pflanzen aus dem Medium herausgenommen werden mußten.

A. Dauer der Einwirkung 6 Stunden. Temperatur 13° C. Säurekonzentration im Beginne 1 : 42700, am Ende 1 : 64000. Eine Beschädigung ist weder an den oberirdischen Teilen noch an den Wurzeln aufgetreten.

B. Fortsetzung des vorhergehenden Versuches. Dauer der Einwirkung $8^1/_2$ Stunden. Temperatur 13° C. Säurekonzentration am Anfang des Versuches 1 : 28000, am Ende 1 : 62000. Weder am Ende des Versuches noch am folgenden Tage ist eine Beschädigung der oberirdischen Teile und der Wurzeln aufgetreten.

C. Versuch mit einem andern Trichter voll Erbsen. Dauer der Einwirkung 8 Stunden. Temperatur 14° C. Säurekonzentration am Anfang des Versuches 1 : 11000, am Ende desselben 1 : 16000. Es ist keine Beschädigung der oberirdischen Teile und der Wurzeln eingetreten, weder bei Beendigung des Versuches noch am folgenden Tage.

4. Versuch mit älteren Keimpflanzen der Fichte, welche in einem Topf mit Erde gewachsen waren. Versuchsdauer 7 Stunden. Temperatur 15—16° C. Säurekonzentration im Anfange des Versuches 1 : 6800, am Ende 1 : 11000. Die Keimpflanzen sind durch die Säure gebleicht und getötet.

Hier können auch noch die Versuche angeführt werden, welche mit

Keimpflanzen angestellt wurden, um die Einwirkung der schwefligen Säure auf das Längenwachstum kennen zu lernen.

5. Versuche mit Keimpflanzen von Helianthus annuus. Bei 9stündiger Einwirkung einer Säurekonzentration von 1 : 21000 bis 1 : 22000 sind von 8 Pflanzen 2 getötet worden.

Bei 9stündiger Einwirkung einer Säurekonzentration von 1 : 33500 ist von 6 Exemplaren eins beschädigt worden, das dann zugrunde gegangen ist.

Bei jedesmaliger 9stündiger Einwirkung der Säurekonzentration 1 : 26000, 1 : 15800, 1 : 23000 sind keine Beschädigungen aufgetreten.

Bei 9stündiger Einwirkung einer Säurekonzentration von 1 : 14800 bis 1 : 20400 sind unter 12 Pflanzen bei fünfen die Kotyledonen an den Rändern beschädigt.

Bei 9stündiger Einwirkung einer Säurekonzentration von 1 : 16300 bis 1 : 14400 sind von 18 Pflanzen 3 beschädigt worden und später abgestorben.

Bei einer Einwirkung einer Säurekonzentration von 1 : 26000 während 8 $^1/_2$ Stunden sind von 7 Pflanzen 3 beschädigt worden, welche später abstarben.

6. Versuche mit Keimpflanzen von Phaseolus vulgaris. An einer von zwei Pflanzen sind Beschädigungen aufgetreten, nachdem einmal 11 Stunden lang eine Säurekonzentration von 1 : 21300 und zwei Tage später während desselben Zeitraumes eine solche von 1 : 24400 eingewirkt hatte.

In einem andern Versuch waren nach 9stündiger Einwirkung einer Säurekonzentration von 1 : 13000 und einer darauffolgenden 8stündigen Einwirkung einer Säurekonzentration von 1 : 15200 alle 5 Pflanzen beschädigt.

7. Nachdem 3 Pflanzen der weißen Lupine 2 Tage hintereinander 9 resp. 10 Stunden einer Säurekonzentration von 1 : 16000 ausgesetzt gewesen waren, waren 2 Exemplare beschädigt. Die Stengel wiesen weiße Flecken auf.

8. In einem Versuche mit Keimpflanzen von Lupinus Hartwegi coelestinus waren alle vier beschädigt, eine sogar getötet, nachdem 11 Stunden lang eine Säurekonzentration von 1 : 12500 eingewirkt hatte.

Die Beschädigungen machen sich bei den unter 5, 6, 7 und 8 aufgeführten Keimpflanzen teils an den Kotyledonen, teils an den Stengeln bemerkbar. Soweit die Kotyledonen beschädigt sind, haben sie sich anfänglich gelbgrau gefärbt, später vertrocknen sie. Die Beschädigungen an den Stengeln pflegen in Form weißer Flecke von verschiedener Gestalt aufzutreten. Mit ihrem Auftreten scheint meistens eine Tropfenausscheidung Hand in Hand zu gehen.

2. Versuch mit krautigen Pflanzen in Töpfen.

9. Versuch im Dunkeln mit je einem Topf Wicke, Bohne und Kartoffel am 23. Juni 1904 von 9 Uhr 20 Min. vormittags bis 7 Uhr 20 Min. nachmittags. Versuchsdauer 10 Stunden. Temperatur 20—22° C, Die Konzentration der Säure schwankte zwischen 1 : 130000 und 1 : 108000. Bei Beendigung des Versuches bleibt es fraglich, ob die Pflanzen gelitten haben. Am 24. Juni morgens ist auf einem Bohnenblatt ein gelber Fleck, die Wicke hat auf einigen jungen Blättern Flecke, welche schwärzlich grün aussehen. Die Kartoffel macht gleichfalls einen leidenden Eindruck.

10. Versuch im Dunkeln mit je einem Topf Wicke, Bohne und Kartoffel am 22. Juni 1904 von 9 Uhr 15 Min. vormittags bis 6 Uhr 15 Min. nachmittags. Versuchsdauer 9 Stunden. Temperatur 20,5 bis 22,5° C. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 27000, bei Schluß des Versuches gleich Null. Bohnen sehr stark fleckig; fast der größte Teil der Blattfläche gelb gefärbt. Die Kartoffel ist auch fleckig, wenn auch viel weniger stark.

11. Versuch im Dunkeln mit je einem Topf Wicke, Bohne und Kartoffel am 24. Juni von 10 Uhr 10 Min. vormittags bis 7 Uhr 15 Min. nachmittags. Versuchsdauer 9 Stunden. Temperatur 22—24° C. Säurekonzentration hat zwischen 1 : 96000 und 1 : 76000 geschwankt. Durch die Glocke hindurch ist mit Sicherheit nicht festzustellen, ob Beschädigungen aufgetreten sind.

12. Versuch im Sonnenlicht mit je einem Topf Wicke, Bohne und Kartoffel am 29. Juni 1904 von 10 Uhr 30 Min. vormittags bis 7 Uhr nachmittags. Versuchsdauer 8½ Stunden. Die Temperatur war im Anfange 16° C, ist aber während der Versuchsdauer auf 26° gestiegen. Die Säurekonzentration war gering, schwankte aber beträchtlich zwischen 1 : 218000 im Maximum und 1 : 411000 im Minimum. Irgend welche Beschädigungen waren weder bei Beendigung des Versuches noch am folgenden Tage zu beobachten.

13. Versuch im Sonnenlicht mit je einem Topf von Wicke, Bohne und Kartoffel am 30. Juni 1904 von 10 Uhr 30 Min. vormittags bis 7 Uhr 30 Min. nachmittags. Versuchsdauer 9 Stunden. Temperatur betrug im Anfange 19° C, stieg aber während des Versuches bis auf 31,5°. In kurzen Intervallen, etwa alle zwei Stunden, wurde frische Lösung von schwefligsaurem Natrium hergestellt. Die Säurekonzentration schwankte bedeutend. Im allgemeinen wurden auch wieder schwache Verdünnungen angewandt; hierbei schwankte die Konzentration zwischen 1 : 227000 und 1 : 147000. Einmal wurde jedoch während des Zeitraumes von zwei Stunden die Konzentration 1 : 12700 benutzt. Irgend eine Schädigung an den Pflanzen ist selbst am 2. Juli nicht zu beobachten.

14. Versuch im Sonnenlicht mit je einem Topf von Wicke, Bohne und Kartoffel am 2. Juli 9 Uhr 30 Min. vormittags bis 6 Uhr 45 Min. nachmittags. Versuchsdauer $7^1/_4$ Stunden. Temperatur schwankte zwischen 19 und 26° C. Die Säurekonzentration schwankte erheblich zwischen 1 : 116000 und 1 : 180000.

15. Versuche im Sonnenlicht mit einer Kohlrabi- und zwei Luzernepflanzen in Töpfen mit Erde.

A. 18. Juli 10 Uhr 40 Min. vormittags bis 7 Uhr 40 Min. nachmittags. Versuchsdauer 9 Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 26 und 31,5° C, die Säurekonzentration zwischen 1 : 151000 und 1 : 110000. Keine Beschädigung.

B. Der Versuch wird am 19. Juli 10 Uhr vormittags bis 7 Uhr 45 Min. nachmittags fortgesetzt. Versuchsdauer $9^3/_4$ Stunden, die Temperatur schwankte zwischen 23 und 28° C, die Säurekonzentration zwischen 1 : 78000 und 1 : 71500. Keine Beschädigung.

C. Der Versuch wird am 20. Juli von 8 Uhr 30 Min. vormittags bis 7 Uhr 30 Min. nachmittags fortgesetzt. Versuchsdauer 11 Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 23 und 29° C, die Säurekonzentration zwischen 1 : 84000 und 1 : 70000. Keine Beschädigung.

D. Der Versuch wird am 21. Juli 9 Uhr 30 Min. vormittags bis 7 Uhr 30 Min. nachmittags fortgesetzt. Versuchsdauer 10 Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 21 und 34° C, die Säurekonzentration zwischen 1 : 48000 und 1 : 33500. Keine Beschädigung.

E. Der Versuch wird am 22. Juli von 9 Uhr 40 Min. vormittags bis 6 Uhr 40 Min. nachmittags fortgesetzt. Versuchsdauer 9 Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 22 und 23° C, die Säurekonzentration zwischen 1 : 20000 und 1 : 18000. Hier sind sehr starke Beschädigungen aufgetreten. Am 23. Juli nachmittags war das Ergebnis das folgende: Bei der Luzerne ist alles Chlorophyll zerstört, so daß die Blätter weißlich erscheinen und vertrocknet sind. Bei dem Kohlrabi sind große Teile der Blätter zerstört, die auch farblos erscheinen und vertrocknet sind. Die Stengel der Pflanzen sind unverletzt, ebenso die im Aufbrechen befindlichen Knospen, so daß eine Weiterentwicklung der Pflanzen nicht ausgeschlossen ist. An der Kohlrabipflanze sind sogar zwei große Blätter unversehrt.

16. A. Versuch mit einem Topfexemplar von Phaseolus multiflorus in diffusem Tageslicht am 24. September 1902. Versuchsdauer $6^1/_2$ Stunden. Säurekonzentration 1 : 256000. Keine Beschädigungen.

B. Fortsetzung des Versuches am 26. September. Versuchsdauer $8^3/_4$ Stunden. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 141700, am Schlusse 1 : 165000. Keine Beschädigungen.

17. A. Versuch mit einem Topfexemplar von Phaseolus multiflorus in diffusem Tageslicht am 30. September 1902. Versuchsdauer $5^1/_4$ Stunden. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 117500, am Schluß 1 : 138000. Keine Beschädigungen.

B. Fortsetzung des Versuches am 1. Oktober. Versuchsdauer $6^1/_2$ Stunden. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 82300, am Schluß 1 : 87500. Keine Beschädigungen.

18. Hier wären die Versuche mit Zwiebelgewächsen, welche zur Untersuchung der Beeinflussung des Längenwachstums durch die Säure gedient hatten, anzuschließen.

Bei einer ca. neunstündigen Einwirkung einer Säurekonzentration von 1 : 15000 resp. 1 : 11500 sind die Spitzen bei der Zwiebel (Allium Cepa) beschädigt worden. Sie verfärben sich ins Gelbe und Graue und vertrocknen dann.

Bei Einwirkung einer Säurekonzentration von 1 : 10000 in 8 Stunden und 1 : 13000 in $8^3/_4$ Stunden sind fast alle Spitzen der Blätter bei der Schalotte (Allium ascalonicum) beschädigt worden.

Die Blätter der Narzisse sind unbeschädigt geblieben bei den zur Anwendung gelangten Säurekonzentrationen 1 : 10000, 1 : 14000, 1 : 15000, 1 : 14000, 1 : 12000 bei der üblichen Versuchsdauer von $8^1/_2$ bis 10 Stunden.

3. Versuche mit Baumzweigen.

19. Versuch mit Tannenzweigen bei diffusem Licht. Ein frischer Zweig und ein Zweig, der schon einige Tage im Zimmer zugebracht hatte. 15. März 1904, Versuchsdauer $6^3/_4$ Stunden, Temperatur 17 ° C, Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 8300, bei Beendigung des Versuches 1 : 12900. Bei Beendigung des Versuches scheinen die Zweige durch die Glocke hindurch beschädigt. Am 16. März abends wurden die Zweige herausgenommen; der Zweig, welcher einige Tage vor dem Versuch im Laboratorium zugebracht hatte, war stärker beschädigt als der andere.

20. Versuch mit einem Tannenzweig, welcher unmittelbar vor Beginn des Versuches aus dem Freien geholt worden war, 24. März 1904. Versuchsdauer $8^1/_2$ Stunden. Normale Zimmertemperatur. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 15300, am Ende 1 : 40000. Am Abend und am folgenden Morgen keine Beschädigung vorhanden.

Am 25. März wird der Versuch fortgesetzt. Versuchsdauer $8^3/_4$ Stunden. Die angewandte Säurekonzentration sollte die gleiche sein wie am vorhergehenden Tage, da aber der Gasmesser nicht anzeigte, so ist eine Berechnung derselben ausgeschlossen. Vielleicht ist sie etwas höher gewesen als am vorhergehenden Tage. Am 26. März wurde der Zweig

aus der Glocke herausgenommen und ins Zimmer gestellt. Es waren Schäden an einzelnen Nadeln aufgetreten. Am Morgen des 27. März waren im oberen Teil des Zweiges die Nadeln meistens am Ende verfärbt, und zwar waren sie gelblich-grünlich-braun gefärbt.

21. Versuch mit je einem Zweig von Kiefer, Fichte und Tanne in diffusem Tageslicht am 26. März. Versuchsdauer 8 1/2 Stunden, Temperatur 14—15 ° C, Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 14600, bei Beendigung 1 : 26200.

Am 27. März vormittags werden die drei Zweige aus der Glocke herausgenommen: die Tanne und die Fichte zeigen keine Beschädigungen, der Kiefernzweig ist verfärbt. Am 31. März morgens haben die Nadeln des Kiefernzweiges einen bräunlichen Farbenton angenommen. Bei der Tanne und der Fichte sind einige Nadelspitzen beschädigt.

22. Versuch mit einem Fichtenzweig bei diffusem Lichte am 25. Februar 1904. Versuchsdauer 7 1/4 Stunden. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 6700, am Schluß 1 : 9800. Eine sichtbare Beschädigung war weder bei Beendigung des Versuchs noch am folgenden Morgen vorhanden.

Am 26. Februar wird der Versuch fortgesetzt. Versuchsdauer 7 Stunden. Säurekonzentration im Beginn des Versuch 1 : 4400, am Ende 1 : 5300. Sichtbare Beschädigungen weder am Abend noch am folgenden Morgen vorhanden. Später wurde der Zweig unter der Glocke herausgenommen, es zeigten sich da an einzelnen kleinen Zweigen Beschädigungen, indem die Nadeln ins Gräuliche verfärbt waren.

23. Versuch mit einem Fichtenzweige in diffusem Licht am 11. März 1904. Versuchsdauer 8 1/2 Stunden. Säurekonzentration im Anfange 1 : 3800, bei Beendigung des Versuches 1 : 5700. Als am folgenden Morgen der Zweig unter der Glocke herausgenommen wurde, zeigte sich, daß die Nadeln etwas von ihrem Glanz eingebüßt hatten.

24. Versuch mit je einem Fichten- und Kiefernzweige in diffusem Licht am 14. März 1904. Versuchsdauer 7 1/2 Stunden. Temperatur schwankte zwischen 20—24 ° C. Die Säurekonzentration betrug bei Beginn des Versuches 1 : 3300, am Ende 1 : 5800. Die Kiefer erwies sich bei Beendigung des Versuches als stark beschädigt. Am 16. März trat auch unzweifelhaft hervor, daß die Fichte stark beschädigt war.

25. Versuch mit je einem Fichten- und Kiefernzweige am 15. März 1905. Versuchsdauer 7 1/2 Stunden. Temperatur 20—26 ° C. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 8300, am Ende 1 : 15000. Bei Beendigung des Versuches schien durch die Glocke hindurch die Kiefer im oberen Teil beschädigt zu sein. Am 16. März gegen Abend wurden die Zweige herausgenommen. Die Kiefer erwies sich

als im oberen Teil beschädigt, während die Fichte unbeschädigt zu sein schien. Am folgenden Morgen waren deutliche Beschädigungen auch am Fichtenzweige, namentlich im obereren Teil, aufgetreten. Die Nadeln hatten einen bräunlichen Ton angenommen. Tage lang haben die Zweige vor dem Südfenster gestanden, aber eine Rotfärbung der beschädigten Stellen ist nicht eingetreten.

26. Versuch mit je einem Fichten- und Kiefernzweige am 26. März 1904. Versuchsdauer 8 Stunden, die Temperatur schwankte zwischen 20 und 23° C. Die Säurekonzentration war bei Beginn des Versuches 1 : 14000, am Ende 1 : 23500.

Am 27. März vormittags ist von einer Beschädigung der Fichte nichts wahrzunehmen, während die Kiefer an einzelnen Nadeln Beschädigungen aufwies. Die Zweige wurden vor das Fenster gestellt. Am 30. März morgens: die Fichte sieht unverändert normal aus, die Kiefer hingegen zeigt an zahlreichen Nadeln mehr oder weniger große Flecke, welche grünlich-gelb gefärbt sind.

27. A. Versuch mit Fichtenzweigen in der Sonne am 26. Juli 1904. Versuchsdauer 10 Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 21 und 28,5° C, die Säurekonzentration zwischen 1 : 162000 und 1 : 167000. Zwischendurch war sie etwa für 2 Stunden auf 1 : 1480000 herabgesunken. Beschädigungen waren nicht aufgetreten.

B. Am 27. Juli wird der Versuch fortgesetzt, aber mit höherer Konzentration. Der Versuch dauerte 9 Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 18 und 24,5° C, die Säurekonzentration zwsichen 1 : 41000 und 1 : 77000.

28. A. Versuch mit Fichtenzweigen in der Sonne am 28. Juli 1904. Versuchsdauer 9½ Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 18,5 und 25° C, die Säurekonzentration zwischen 1 : 56200 und 1 : 81000. Schäden waren nicht aufgetreten.

B. Fortsetzung des Versuches am 29. Juli. Versuchsdauer 9 Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 20 und 34° C, die Säurekonzentration zwischen 1 : 31500 und 1 : 27000. Durch die Glocke hindurch sind am Abend keine Beschädigungen wahrnehmbar. Als am folgenden Morgen die Glocke abgenommen wurde, wurden hier und da an den Nadeln Beschädigungen beobachtet. Bedeutend sind sie aber nicht.

C. Trotz dieser Beschädigungen wird der Versuch am 30. Juli fortgesetzt. Versuchsdauer 7¾ Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 24 und 31,5° C, die Säurekonzentration zwischen 1 : 35300 und 1 : 32000. Trotz dieser nochmaligen Einwirkung hat die Beschädigung nicht wesentlich zugenommen.

29. Versuch mit drei Buchenzweigen in der Sonne am 1. August 1904. Versuchsdauer 5 1/4 Stunden. Temperatur schwankte um 32° C, die Säurekonzentration betrug ungefähr 1 : 44000. An einigen Blättern sind schwache Injektionen, aber keine Verfärbungen aufgetreten.

30. Versuch mit drei Buchenzweigen in der Sonne am 2. August 1904. Versuchsdauer 8 Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 23 und 33° C, die Säurekonzentration zwischen 1 : 40000 und 1 : 56000. Die Zweige blieben bis zum andern Morgen unter der Glocke.

3. August morgens: an allen Zweigen sind Injektionen in den Blättern aufgetreten. Bei einigen sind sie verhältnismäßig nur schwach, bei anderen sehr stark. Bei den meisten Blättern verlieren sich mit der Zeit die Injektionen, ohne eine Spur zu hinterlassen. An zwei Zweigen haben sie an den obersten Blättern ein Absterben und damit Bräunung der Blattsubstanz zur Folge.

31. Versuch mit je einem Zweige von Pappel, Hainbuche, Ahorn und Eiche im Dunkeln, 13. Juli 1903 vormittags. Versuchsdauer 2 Stunden. Die Temperatur schwankte zwischen 21 und 22° C, die Säurekonzentration betrug im Durchschnitt 1 : 7600. Bei Beendigung des Versuches waren keine Beschädigungen vorhanden. Eine Stunde nach der Beendigung des Versuches: an der Pappel sind sämtliche Blätter beschädigt, am Ahorn alle Blätter braun, bei der Eiche die Blätter verdorrt, bei der Hainbuche hingegen nur wenig beschädigt.

32. Versuch mit je einem Zweige von Weide, wildem Wein, Linde, Erle und Haselnuß am 13. Juli vormittags. Versuchsdauer 2 Stunden. Die Temperatur betrug 24° und die Säurekonzentration im Durchschnitt 1 : 6100. Bei Beendigung des Versuches waren keine Beschädigungen vorhanden.

Eine Stunde nach Beendigung der Versuche: Weide, die Blätter stark angegriffen mit braunen Flecken, größtenteils schon vertrocknet. Beim wilden Wein ist alles ziemlich beschädigt mit Ausnahme eines jungen Blattes. Die Linde hat starke Injektionen, die Blätter sind ziemlich angegriffen. An der Erle ist kaum etwas von Beschädigung zu sehen und an der Haselnuß ist nichts beschädigt. 14. Juli 9 Uhr vormittags: bei der Weide sind die Blätter stark verfärbt und ganz welk. Die Blätter des wilden Weins sind mit Ausnahme des jungen Blattes alle verdorrt. Bei der Linde sind noch starke Injektionen vorhanden und die Blätter stark zusammengerollt. Die Blätter der Erle haben wenige und kleine Flecken, mitunter nur von Punktgröße, die der Haselnuß große braune Flecken. Am 15. Juli nachmittags sind die Blätter der Linde vertrocknet, die der Erle vertrocknet oder welk, aber alle stark beschädigt. Die Blätter der Haselnuß sind alle vertrocknet.

33. Versuch mit je einem Zweige von Eiche, Hainbuche, Ahorn und Broussonetia papyrifera am 14. Juli 1903 vormittags. Versuchsdauer 2 Stunden. Temperatur schwankte zwischen 24—26 ° C und die Säurekonzentration betrug im Durchschnitt 1 : 7000. Bei Beendigung des Versuches war bei der Eiche ein junges Blatt zusammengerollt, aber keine Verfärbung aufgetreten. An der Hainbuche machten sich keine Veränderungen bemerkbar, bei Ahorn wiesen die Blätter ziemlich reichlich Flecken auf, und ebenso waren auf den Blättern von Broussonetia Flecken vorhanden. Eine Stunde später zeigten die Blätter der Eiche und Hainbuche Injektionen, erstere waren wenig, letztere gar nicht beschädigt. Die Blätter des Ahorn hatten große und zahlreiche Flecken und waren zum Teil schon verdorrt. Broussonetia wies große Flecken auf den Blättern auf. Am 15. Juli nachmittags war das junge Eichenblatt verdorrt. Bei der Hainbuche waren Beschädigungen an den Blatträndern aufgetreten, bei Ahorn alles beschädigt, die Blätter meist verdorrt. Broussonetia zeigte schwache Beschädigungen in Form von Flecken.

34. Versuch mit je einem Zweige von Pappel, Birke, Weide und Linde am 14. Juli 1904 nachmittags im Dunkeln. Versuchsdauer 1 ½ Stunden. Temperatur betrug 24 °, Säurekonzentration 1 : 6300. Nach Beendigung des Versuches waren bei Pappel und Linde gelbgrüne kleine Flecken auf den Blättern aufgetreten, während die anderen Zweige keine Veränderung zeigten. Eine Stunde später waren auf den Pappelblättern Injektionen und braune Flecken vorhanden. Die Lindenblätter waren stark beschädigt und ganz welk. An der Birke war ein Teil der Blätter stark, ein Teil wenig beschädigt; bei der Weide waren ziemlich große Flecken auf den Blättern aufgetreten. Am 15. Juli vormittags erschien die Pappel wenig mehr angegriffen als zuvor; die Injektionen waren noch vorhanden. Die Lindenblätter hatten viele Flecken, mehr als am Tage vorher, während die Birke unverändert war. Dahingegen waren die Weidenblätter stark angegriffen, zeigten auch Injektionen. Am Nachmittage desselben Tages waren Pappel und Linde unverändert. Die Birke hatte starke Injektionen, alle Blätter waren verfärbt. Bei der Weide waren alle Blätter beschädigt und vertrocknet.

35. Versuch mit je einem Zweige von Pappel und Weide am 15. Juli 1903 im Dunkeln. Versuchsdauer 2 Stunden. Temperatur schwankte zwischen 22 und 23 ° C. Die Säurekonzentration betrug im Durchschnitt 1 : 6500. Unmittelbar nach Beendigung des Versuches war bei der Pappel alles gesund, in den Weidenblättern waren Injektionen aufgetreten. Nach einer Stunde haben einige Pappelblätter Flecken, und am 15. Juli nachmittags sind alle Blätter der Pappel und der Weide beschädigt.

36. Versuch mit einem Fichtenzweige bei diffusem Licht am 8. September 1902. Versuchsdauer 3 Stunden. Säurekonzentration im Beginn des Versuchs 1 : 195000, am Ende 1 : 221000. Es sind keine Beschädigungen aufgetreten.

37. Versuch mit einem Fichtenzweige bei diffusem Lichte am 10. September 1902. Versuchsdauer 3 Stunden. Säurekonzentration im Beginn 1 : 86800, am Ende des Versuches 1 : 101000. Keine Beschädigungen.

38. A. Versuch mit einem Fichtenzweige bei diffusem Lichte am 12. September 1902. Versuchsdauer 7 Stunden. Säurekonzentration im Beginn 1 : 83000, am Ende des Versuches 1 : 89000. Keine Beschädigungen.

B. Fortsetzung des Versuches am folgenden Tage. Versuchsdauer 9 Stunden. Säurekonzentration im Beginn 1 : 60800, am Ende des Versuchs 1 : 68900. Keine Beschädigungen.

39. A. Versuch mit einem Fichtenzweige in diffusem Lichte am 14. September 1902. Versuchsdauer $2^3/_4$ Stunden. Säurekonzentration im Durchschnitt 1 : 58000. Keine Beschädigungen.

B. Fortsetzung des Versuches am folgenden Tage. Versuchsdauer $9^1/_4$ Stunden. Säurekonzentration im Durchschnitt 1 : 61000. Keine Beschädigungen.

40. A. Versuch mit einem Fichtenzweige in diffusem Lichte am 18. September 1902. Versuchsdauer $3^1/_2$ Stunden. Säurekonzentration im Durchschnitt 1 : 42500. Keine Beschädigungen.

B. Fortsetzung des Versuches am 20. September. Versuchsdauer $6^1/_2$ Stunden. Säurekonzentration im Durchschnitt 1 : 36000. Keine Beschädigungen.

C. Fortsetzung des Versuches am 21. September. Versuchsdauer 9 Stunden. Säurekonzentration im Durchschnitt 1 : 33000. Keine Beschädigungen.

41. Versuch mit einem Fichtenzweige in diffusem Lichte am 25. September 1902 von 4 bis 7 Uhr nachmittags. Versuchsdauer 3 Stunden. Säurekonzentration 1 : 290. Am folgenden Tage wurde der Zweig auf die Beschädigungen angesehen. Mit Ausnahme der älteren Nadeln, welche grün geblieben waren, waren die Nadeln von graubrauner (oliver) Farbe.

42. Versuch mit einem Buchenzweige in diffusem Lichte am 11. Oktober 1902. Versuchsdauer $10^3/_4$ Stunden. Säurekonzentration im Beginn 1 : 103000. Keine Beschädigungen.

43. Versuch mit einem Buchenzweige in diffusem Lichte am 16. Oktober 1902. Versuchsdauer $6^1/_4$ Stunden. Säurekonzentration 1 : 28800. Bei Beendigung des Versuches weder Beschädigungen noch In-

jektionen. Am 17. Oktober morgens sind Injektionen und an einigen Blättern Beschädigungen aufgetreten. Der Zweig wird im Zimmer weiter beobachtet. Am 18. September sind die Blätter dunkel-olivgrün gefärbt, am 20. September ist die Olivfarbe stärker geworden.

44. Versuch mit einem Buchenzweige in diffusem Lichte am 18. Oktober 1902. Versuchsdauer 8 1/4 Stunden. Säurekonzentration 1 : 48000. Bei Beendigung des Versuches keine Beschädigungen vorhanden. Am 20. Oktober sind alle Blätter injiziert, und am 21. Oktober haben die Blätter die Olivfarbe wie bei dem vorhergehenden Versuch angenommen.

45. Versuch mit einem Buchenzweige im Dunkeln am 10. Oktober 1902. Versuchsdauer 7 Stunden. Temperatur 18° C. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 50900. Weder bei Beendigung des Versuches noch am 11. Oktober sind Beschädigungen aufgetreten.

46. Versuch mit einem Buchenzweige im Dunkeln am 11. Oktober 1902. Versuchsdauer 10 1/2 Stunden. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 38400. Weder bei Beendigung des Versuches noch am 12. Oktober sind Beschädigungen aufgetreten.

Diese Beobachtungen an der Buche lassen sich noch vermehren durch die Beobachtungen über das Auftreten der Beschädigungen, welche gelegentlich der Versuche über die Wasseraufnahme und die Einwirkung der Säure auf die Assimilation gemacht wurden.

Im Versuch 19, Tabelle 3, wirkte die Säurekonzentration 1 : 5000 3 Stunden lang ein. Mit dem Aufhören der Säurewirkung traten auch schon Injektionen auf, die sich bis zum andern Morgen bedeutend vermehrt und auch Beschädigungen im Gefolge hatten. Im Versuch 18 wirkte annähernd dieselbe Konzentration eine Stunde lang ein. Sehr bald traten auch hier Injektionen auf, und am andern Morgen waren die Blätter beschädigt. Im Versuch 17 wirkte eine Säurekonzentration 1 : 94000 vier Stunden lang ein. Weder waren bei Beendigung des Versuches noch am folgenden Morgen Beschädigungen eingetreten, sondern erst am Abend dieses Tages, welche bis zu dem nächstfolgenden Morgen noch stärker wurden. Aber selbst als eine Konzentration von 1 : 230000 vier Stunden lang eingewirkt hatte, traten zwei Tage später Beschädigungen in Form von Flecken auf den Blättern auf. Bei den in ähnlicher Weise ausgeführten Versuchen mit Konzentration 1 : 415000, 1 : 648000, 1 : 661000, 1 : 823500, 1 : 1098000 wurden keine Beschädigungen beobachtet.

Bei den Assimilationsversuchen im elektrischen Licht traten bei einem Teil derselben auch Beschädigungen auf. Im Versuch 6 wirkte am 14. Juni eine Konzentration 1 : 191000, am 17. Juni eine solche von 1 : 64500 je 6 Stunden ein. Am 20. Juni sind Beschädigungen als braun gefärbte

Flecken auf den Blättern aufgetreten. Eine vierstündige Einwirkung von 1 : 125000 am 13. September (Versuch 14) hatte am 16. September starke Beschädigungen im Gefolge. Am 23. Juni wirkte 5 Stunden lang die Säurekonzentration 1 : 144000 ein (Versuch 7). Am folgenden Abend waren an den Blättern Beschädigungen in großer Zahl aufgetreten. Am 15. Juli wirkte die Konzentration 1 : 176000 fünf Stunden lang ein (Versuch 9). Am 17. morgens waren viele Beschädigungen an den Blättern wahrzunehmen. Dieselbe Konzentration wirkte im Versuch 11 am 28. Juli 5 Stunden lang ein. Am Abend des folgenden Tages zeigten drei Blätter die Anfänge von Beschädigungen (Versuch 11). Am 23. Juli wirkte fünf Stunden lang die Konzentration 1 : 317000 ein. Am 28. morgens waren Beschädigungen an einigen Blättern aufgetreten. Daß diese Beschädigungen erheblich an Zahl zunahmen, als am 31. Juli vier Stunden lang die Konzentration 1 : 87400 einwirkte, kann nicht überraschen (Versuch 10); aber auch hier traten die Beschädigungen als Nachwirkungen erst am 2. August nachmittags auf. Dahingegen traten keine Beschädigungen auf, als 6 Stunden lang eine Konzentration 1 : 283000 (Versuch 8), und je vier Stunden lang die Konzentration 1 : 227000 (Versuch 12) und 1 : 292000 (Versuch 13) auf Buchen einwirkte.

47. Versuch mit einem Zweige von Prunus Laurocerasus in diffusem Lichte am 21. Oktober 1902. Versuchsdauer 9 Stunden. Säurekonzentration 1 : 46700 zu Anfang des Versuches. Bei Beendigung des Versuches keine Beschädigungen. Am 22. Oktober waren alle Blätter stark beschädigt.

48. A. Versuch mit einem Epheuzweige in diffusem Tageslicht am 5. September 1902. Versuchsdauer 6 Stunden. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 175000. Keine Beschädigungen.

B. Versuch fortgesetzt am 6. September. Versuchsdauer 6 Stunden. Säurekonzentration im Beginn des Versuches 1 : 130000. Keine Beschädigungen.

C. Fortsetzung des Versuches am 8. September. Versuchsdauer 6 Stunden. Säurekonzentration im Beginn des Versuches 1 : 84400. Keine Beschädigungen.

D. Fortsetzung des Versuches am 9. September. Versuchsdauer $6^1/_4$ Stunden. Säurekonzentration im Beginn des Versuches 1 : 34300. Keine Beschädigungen.

49. Versuch mit einem Epheuzweige am 3. Januar 1903. Versuchsdauer 8 Stunden. Säurekonzentration im Beginn des Versuches 1 : 5200. Bei Beendigung des Versuches keine Beschädigungen, selbst 48 Stunden später sind keine aufgetreten.

50. Versuch mit einem Birkenzweige in diffusem Tageslichte am 4. September 1902. Versuchsdauer 6 Stunden. Säurekonzentration 1 : 85000 im Beginn des Versuches. Am folgenden Morgen sind schwache Beschädigungen vorhanden.

51. Versuch mit einem Birkenzweige in diffusem Tageslichte am 5. September 1902. Versuchsdauer 6 Stunden. Säurekonzentration im Beginn des Versuches 1 : 88900. Am folgenden Morgen sind keine Beschädigungen in Form von Flecken vorhanden, aber alle Blätter sind mehr oder weniger verkrümmt, haben ihren Glanz verloren und fühlen sich rauh und trocken an. Am 8. September sind viele deutliche Flecken vorhanden, die bei durchfallendem Licht besonders deutlich sind.

52. Versuch mit einem Birkenzweige in diffusem Tageslichte am 12. September 1902. Versuchsdauer 6 Stunden. Säurekonzentration im Beginn des Versuches 1 : 108000. Am 13. September sind Beschädigungen vorhanden.

53. Mit einem Zweige vom Weinstock wurde am 24. August 1902 ein Versuch in diffusem Lichte ausgeführt. Versuchsdauer 7 $^3/_4$ Stunden. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 149000, am Ende 1 : 168000. Am 30. August sind Beschädigungen vorhanden.

In den beiden Assimilationsversuchen 22 und 23 sind keine Beschädigungen aufgetreten. Im Versuch 22 wirkte zwei Stunden lang eine Konzentration 1 : 89000, zwei Stunden lang eine Konzentration 1 : 112000 und vier Stunden lang eine Konzentration 1 : 111000 ein. Im Versuch 23 war die Konzentration höher 1 : 92700, die Versuchsdauer 6 Stunden. Als drei Stunden lang (Assimilationsversuch 21) eine Konzentration von 1 : 33400 einwirkte, wurde die Pflanze stark beschädigt.

54. Versuch mit einem Ahornzweige in diffusem Tageslichte am 6. August 1902. Versuchsdauer 1 $^1/_4$ Stunden. Säurekonzentration im Anfang des Versuches 1 : 4000. Alle Blätter sind olivbraun gefärbt.

55. A. Versuch mit einem Ahornzweige in diffusem Tageslichte am 8. September 1902. Versuchsdauer 6 Stunden. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 52500. Keine Beschädigungen.

B. Am folgenden Tage wird der Versuch fortgesetzt. Versuchsdauer 6 $^1/_4$ Stunden. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 58500. Am 10. September morgens sind Beschädigungen aufgetreten.

56. Versuch mit einem Ahornzweige in diffusem Lichte am 18. September 1902. Versuchsdauer 6 $^1/_2$ Stunden. Säurekonzentration bei Beginn des Versuches 1 : 98000. Auftreten punktförmiger Beschädigungen auf den meisten Blättern.

57. Versuch mit einem Eichenzweige in diffusem Lichte am 8. August 1902. Versuchsdauer 1 $^3/_4$ Stunden. Säurekonzentration bei Be-

ginn des Versuches 1 : 3900. Bei Beendigung des Versuches waren an einem Blatte kleine Beschädigungen vorhanden. Am folgenden Morgen waren kleine Flecken an einer größeren Zahl von Blättern vorhanden.

58. Versuch mit einem Eichenzweige in diffusem Lichte am 23. August 1902. Versuchsdauer $7\frac{1}{4}$ Stunden. Der Versuch begann mit einer Säurekonzentration von 1 : 48000 und endete mit einer solchen von 1 : 50000. Bei Beendigung des Versuches waren keine Beschädigungen vorhanden. Am 25. August morgens waren mehrere Blätter beschädigt, indem gelbe Flecken aufgetreten waren.

4. Versuche mit bewurzelten Holzpflanzen.

59. Versuch mit einer Wasserkultur der Pappel in diffusem Licht am 10. September 1902. Die Säure wird während $2\frac{3}{4}$ Stunden über die oberirdischen Teile der Pflanze in der Konzentration 1 : 30700 geleitet. Am 12. September sind Beschädigungen an den Blättern aufgetreten.

60. Versuche mit Weide. Aus den Assimilationsversuchen mit Weide (Nr. 18, 19, 20, Tabelle 2) geht hervor, daß eine achtstündige Einwirkung einer Konzentration von 1 : 127000 und eine sechsstündige Einwirkung einer Konzentration von 1 : 83000 Beschädigungen im Gefolge haben, während bei fünfstündiger Einwirkung der Konzentration 1 : 311800 die Blätter vollständig unbeschädigt blieben.

61. A. Versuch mit einjährigen Fichtenpflanzen, welche aus Samen in einem Trichter gezogen worden waren, in diffusem Lichte am 1. August 1904. Die Säure wurde durch das Trichterrohr über die Wurzeln geleitet. Versuchsdauer $8\frac{1}{2}$ Stunden. Die Säurekonzentration schwankte zwischen 1 : 66000 und 1 : 56000, die Temperatur zwischen 26 und 27,5° C. Beschädigungen an den oberirdischen Teilen waren nicht aufgetreten.

B. Fortsetzung des Versuches am folgenden Tage. Versuchsdauer 9 Stunden. Die Säurekonzentration schwankte zwischen 1 : 20600 und 1 : 17300, die Temperatur zwischen 25 und 27,5° C. Beschädigungen sind weder an den oberirdischen Organen noch an den Wurzeln aufgetreten.

5. Versuche mit Blüten.

62. Zwei Stunden lang waren bei einer Temperatur von 22—23° C je ein Blütenstand einer roten Nelke, einer Pechnelke, von Campanula patula und Veronica officinalis der Einwirkung einer Konzentration von 1 : 6500 unterworfen gewesen. Beschädigungen sind nur bei Campanula in Form weißer Flecken auf den Kronblättern aufgetreten.

Die folgende Zusammenstellung bietet eine Übersicht über die Versuchsergebnisse.

Name der Pflanze	Pflanzenteil	Versuchsdauer Std.	Konzentration von SO_2 im Beginn des Versuchs	Konzentration von SO_2 am Ende des Versuchs	Art der Einwirkung	Beleuchtungsart
Weizen	Keimling	7	1 : 20 000	1 : 28 200	unbeschädigt	diffuses Tageslicht
„	„	8	1 : 31 800	1 : 50 000	„	„
„	„	7	1 : 8 500	1 : 10 250	beschädigt	„
Roggen	„	8	1 : 31 800	1 : 50 000	unbeschädigt	„
„	„	7	1 : 20 000	1 : 28 200	beschädigt	„
„	„	7	1 : 8 500	1 : 10 250	„	„
Mais	„	7¼	1 : 11 900	1 : 14 000	unbeschädigt	„
„	„	8¼	1 : 6 600	1 : 9 600	beschädigt	„
Erbsen	„	6	1 : 42 700	1 : 64 000	unbeschädigt	„
„	„	8½	1 : 28 000	1 : 62 000	„	„
„	„	8	1 : 11 000	1 : 16 000	„	„
Phaseolus vulgaris	„	11	1 : 21 300	1 : 24 400	50% beschädigt	„
„	„	8	1 : 13 000	1 : 15 200	100% „	„
weiße Lupine	„	9+10	1 : 16 000	—	66% „	„
Lupinus Hartwegi coelestinus	„	11	1 : 12 500	—	100% „	„
Helianthus annuus	„	9	1 : 21 000	1 : 22 000	25% „	„
„	„	9	1 : 33 500	—	16% „	„
„	„	9	1 : 26 600	—	unbeschädigt	„
„	„	9	1 : 15 800	—	„	„
„	„	9	1 : 23 000	—	„	„
„	„	9	1 : 14 800	1 : 20 400	40% beschädigt	„
„	„	8½	1 : 26 000	—	43% „	„
Phaseolus multiflorus	Topfpflanze	6½	1 : 256 000	—	unbeschädigt	„
„	„	8¾	1 : 141 700	1 : 165 000	„	„
„	„	5¼	1 : 117 500	1 : 138 000	„	„
„	„	6½	1 : 82 300	1 : 87 500	„	„
Phaseolus vulgaris	„	10	1 : 108 000	1 : 130 000	ganz schwache Beschädigungen	dunkel
„	„	9	1 : 27 000	—	stark fleckig	„
„	„	9	1 : 76 000	1 : 96 000	zweifelhaft	„
„	„	8½	1 : 218 000	1 : 411 000	unbeschädigt	Sonnenlicht
„	„	9	1 : 147 000	1 : 227 000	„	„
„	„	7¼	1 : 116 000	1 : 180 000	„	„
Wicke	„	10	1 : 108 000	1 : 130 000	einige Flecken	dunkel
„	„	9	1 : 27 000	—	unbeschädigt	„
„	„	9	1 : 76 000	1 : 96 000	zweifelhaft	„
„	„	8½	1 : 218 000	1 : 411 000	unbeschädigt	Sonnenlicht
„	„	9	1 : 147 000	1 : 227 000	„	„
„	„	7¼	1 : 116 000	1 : 180 000	„	„
Kartoffel	„	10	1 : 108 000	1 : 130 000	scheint beschädigt	dunkel
„	„	9	1 : 27 000	—	fleckig	„

Name der Pflanze	Pflanzenteil	Versuchsdauer Std.	Konzentration von SO_2 im Beginn des Versuchs	Konzentration von SO_2 am Ende des Versuchs	Art der Einwirkung	Beleuchtungsart
Kartoffel	Topfpflanze	9	1 : 76 000	1 : 96 000	zweifelhaft	dunkel
„	„	8½	1 : 218 000	1 : 411 000	unbeschädigt	Sonnenlicht
„	„	9	1 : 147 000	1 : 227 000	„	„
„	„	7¼	1 : 116 000	1 : 180 000	„	„
Kohlrabi	„	9	1 : 110 000	1 : 151 000	„	„
„	„	9¾	1 : 71 500	1 . 78 000	„	„
„	„	11	1 : 70 000	1 : 84 000	„	„
„	„	10	1 : 33 500	1 : 48 000	„	„
„	„	9	1 : 18 000	1 : 20 000	starke Beschädigungen	„
Luzerne	„	9	1 : 110 000	1 : 151 000	unbeschädigt	„
„	„	9¾	1 : 71 500	1 : 78 000	„	„
„	„	11	1 : 70 000	1 : 84 000	„	„
„	„	10	1 : 33 500	1 : 48 000	„	„
„	„	9	1 : 18 000	1 : 20 000	starke Beschädigungen	„
Allium Cepa	Blätter	9	1 : 15 000	—	Blattspitzen beschädigt	diffuses Tageslicht
„	„	9	1 : 11 500	—	„	„
Allium ascalonicum	„	8	1 : 10 000	—	„	„
„	„	8¾	1 : 13 000	—	„	„
Narcisse	„	8½	1 : 10 000	—	Blätter unbeschädigt	„
„	„	8½	1 : 14 000	—	„	„
„	„	8½	1 : 15 000	—	„	„
„	„	8½	1 : 12 000	—	„	„
Tanne	Zweig	6¾	1 : 8 300	1 : 12 900	beschädigt	„
„	„	8½	1 : 15 300	1 : 40 000	unbeschädigt	„
„	„	8½	1 : 14 600	1 : 26 200	einige Nadelspitzen beschädigt	„
Kiefer	„	8½	1 : 14 600	1 : 26 200	stark beschädigt	„
„	„	7¼	1 : 3 300	1 : 5 800	„	„
„	„	7½	1 : 8 300	1 : 15 000	im oberen Teil beschädigt	„
„	„	8	1 : 14 000	1 : 23 500	unbeschädigt	„
Fichte	„	8½	1 : 14 600	1 : 26 200	einige Nadelspitzen beschädigt	„
„	„	7¼	1 : 6 700	1 : 9 800	unbeschädigt	„
„	„	7	1 : 4 400	1 : 5 300	schwach beschädigt	„
„	„	8½	1 : 3 800	1 : 5 700	Nadeln Glanz verloren	„
„	„	7½	1 : 3 300	1 : 5 800	stark beschädigt	„
„	„	7½	1 : 8 300	1 : 15 000	beschädigt	„
„	„	8	1 : 14 000	1 : 23 500	unbeschädigt	„
„	„	10	1 : 162 000	1 : 167 000	„	Sonnenlicht

Name der Pflanze	Pflanzenteil	Versuchsdauer Std.	Konzentration von SO_2 im Beginn des Versuchs	Konzentration von SO_2 am Ende des Versuchs	Art der Einwirkung	Beleuchtungsart
Fichte	Zweig	9	1 : 41 000	1 : 77 000	—	Sonnenlicht
„	„	9½	1 : 56 200	1 : 81 000	unbeschädigt	„
„	„	9	1 : 27 000	1 : 31 500	unbedeutende Beschädigungen	„
„	„	3	1 : 195 000	1 : 221 000	unbeschädigt	diffuses Tageslicht
„	„	3	1 : 86 800	1 : 101 000	„	„
„	„	7	1 : 83 000	1 : 89 000	„	„
„	„	9	1 : 60 800	1 : 68 900	„	„
„	„	2¾	1 : 58 000		„	„
„	„	9¼	1 : 61 000		„	„
„	„	3½	1 : 42 500		„	„
„	„	6½	1 : 36 000		„	„
„	„	9	1 : 33 000		„	„
„	„	3	1 : 290		die jungen Nadeln alle graubraun	„
„	einjährige Pflanze	8½	1 : 56 000	1 : 66 000	unbeschädigt	„
„	„	9	1 : 17 300	1 : 20 600	„	„
„	Keimling	7	1 : 6 800	—	gebleicht und getötet	„
Buche	3 Zweige	5¼	1 : 44 000		unbeschädigt	Sonnenlicht
„	3 „	8	1 : 40 000	1 : 56 000	schwache Beschädigungen	„
„	Zweig	10¾	1 : 103 000		unbeschädigt	diffuses Tageslicht
„	„	6¼	1 : 28 800		beschädigt	„
„	„	8¼	1 : 48 000		stark beschädigt	„
„	„	7	1 : 50 900		unbeschädigt	dunkel
„	„	10½	1 : 38 400		„	„
„	„	3	1 : 5 000		beschädigt	diffuses Tageslicht
„	„	1	1 : 47 700		„	„
„	„	4	1 : 94 000		„	„
„	„	4	1 : 230 000		„	„
„	„	8½	1 : 1 800 000		unbeschädigt	„
„	„	6¾	1 : 661 000	1 : 727 000	„	„
„	„	7¼	1 : 648 000		„	„
„	„	—	1 : 415 000		„	„
„	„	—	1 : 823 500		„	„
„	„	—	1 : 1 098 000		„	„
„	Topfpflanze	6	1 : 191 000		beschädigt	Elektrisches Licht
		6	1 : 64 500		„	„
„	„	4	1 : 125 000		„	„
„	„	5	1 : 144 000		„	„

Name der Pflanze	Pflanzenteil	Versuchsdauer Std.	Konzentration von SO_2 im Beginn des Versuchs	Konzentration von SO_2 am Ende des Versuchs	Art der Einwirkung	Beleuchtungsart
Buche	Topfpflanze	5	1 : 176 000		beschädigt	Elektrisches Licht
„	„	5	1 : 176 000		„	„
„	„	5	1 : 317 000		„	„
„	„	4	1 : 87 400		„	„
„	„	6	1 : 283 000		unbeschädigt	„
„	„	4	1 : 227 000		„	„
„	„	4	1 : 292 000		„	„
Prunus Laurocerasus	Zweig	9	1 : 46 700	—	stark beschädigt	diffuses Tageslicht
Pappel	„	2	1 : 7 600		beschädigt	dunkel
„	„	1½	1 : 6 300		„	„
„	„	2	1 : 6 500		„	„
„	Wasserkultur	2¾	1 : 30 700		„	diffuses Tageslicht
Hainbuche	Zweig	2	1 : 7 600		schwach beschädigt	dunkel
„	„	2	1 : 7 000		„	„
Ahorn	„	2	1 : 7 600		beschädigt	„
„	„	2	1 : 7 000		„	„
„	„	1¼	1 : 4 000	—	„	diffuses Tageslicht
„	„	6	1 : 52 500	—	unbeschädigt	„
„	„	6¼	1 : 58 500	—	beschädigt	„
„	„	6½	1 : 98 000	—	„	„
Eiche	„	2	1 : 7 600		„	dunkel
„	„	2	1 : 7 000		„	„
„	„	7¼	1 : 48 000	1 : 50 000	„	diffuses Tageslicht
„	„	1¾	1 : 3 900	—	„	„
Weide	„	2	1 : 6 100		„	dunkel
„	„	1½	1 : 6 300		„	„
„	„	2	1 : 6 500		„	„
„	Wasserkultur	8	1 : 127 000		„	Elektrisches Licht
„	„	6	1 : 83 000		„	„
„	„	5	1 : 311 800		unbeschädigt	„
Wilder Wein	Zweig	2	1 : 6 100		beschädigt	dunkel
Weinstock	„	7¾	1 : 149000	1 : 168000	„	diffuses Tageslicht
„	Topfpflanze	2	1 : 89 000		unbeschädigt	Elektrisches Licht
„	„	2	1 : 112 000		„	„
„	„	4	1 : 111 000		„	„
„	„	6	1 : 92 700		„	„
„	„	3	1 : 33 400		beschädigt	„
Linde	Zweig	2	1 : 6 100		„	dunkel

Name der Pflanze	Pflanzenteil	Versuchsdauer Std.	Konzentration von SO_2 im Beginn des Versuchs	Konzentration von SO_2 am Ende des Versuchs	Art der Einwirkung	Beleuchtungsart
Linde	Zweig	1½	1 : 6 300		beschädigt	dunkel
Erle	„	2	1 : 6 100		„	„
Haselnuß	„	2	1 : 6 100		„	„
Broussonetia papyrifera	„	2	1 : 7 000		„	„
Birke	„	1½	1 : 63 000		„	„
„	„	6	1 : 88 900	—	„	diffuses Tageslicht
„	„	6	1 : 108 000	—	„	„
„	„	6	1 : 85 000	—	„	„
Epheu	„	6	1 : 175 000	—	unbeschädigt	„
„	„	6	1 : 130 000	—	„	„
„	„	6	1 : 84 400	—	„	„
„	„	6¼	1 : 34 300	—	„	„
„	„	8	1 : 5 200	—	„	„
rote Nelke	Blüten	2	1 : 6 500		„	dunkel
Pechnelke	„	2	1 : 6 500		„	„
Campanula patula	„	2	1 : 6 500		beschädigt	„
Veronica officinalis	„	2	1 : 6 500		„	„

Bei Einwirkung der schwefligen Säure in kurzen Zeiträumen verhalten sich verschiedene Pflanzen und Pflanzenteile sehr ungleich. Überraschender Weise waren die Blumenblätter wenig empfindlich. Ob das für alle oder die meisten Blüten zutrifft, vermögen die wenigen Versuche nicht zu entscheiden. Noch viel weniger gestatten sie einen Schluß auf die Empfindlichkeit der Geschlechtsorgane. Es muß wohl angenommen werden, daß sie außerordentlich empfindlich sind, da die Feldfrüchte erheblichen Schaden erleiden sollen, wenn der Rauch während der Blütezeit in das Feld schlägt. Auch sprechen für eine hohe Empfindlichkeit die Angaben, daß in rauchbeschädigten Waldungen Fichten und Buchen — vielleicht auch andere Baumarten — das Fruktifizieren einstellen.

Als sehr wenig empfindlich erwiesen sich die Wurzeln der wenigen von mir daraufhin untersuchten Pflanzenarten. Eine Konzentration von 1 : 17 300, welche im Laufe von 9 Stunden auf 1 : 20 600 sank, rief an jungen einjährigen Fichtenpflanzen keine Beschädigungen an den Wurzeln hervor, allerdings auch nicht an den oberirdischen Teilen. Ebenso verhielten sich Keimpflanzen von Erbsen, welche während 8 Stunden einer von 1 : 11 000 auf 1 : 16 000 sinkenden Konzentration ausgesetzt waren. Bei Maiskeimlingen hingegen zeigten die Wurzeln keine Beschädigungen,

während die oberirdischen Teile beschädigt waren, als $8^1/_4$ Stunden lang eine Konzentration von 1 : 6600 einwirkte, welche bis auf 1 : 9600 sank. Nach diesem letzten Versuch ist es wahrscheinlich, daß allgemein die Wurzeln weniger empfindlich sind als die dazugehörigen oberirdischen Teile; es müßte das aber noch durch weitere Untersuchungen bestätigt werden, wenn die Frage überhaupt Bedeutung hat. Die beiden Versuche mit den Fichten und Erbsen sprechen nicht dagegen, da in ihnen mit der Konzentration nicht hoch genug hinaufgegangen worden war.

Halten wir uns an die oberirdischen Teile der Gräser und krautartigen Pflanzen, so ergeben die Versuche, daß im allgemeinen recht bedeutende Säurekonzentrationen auf die Pflanzen einwirken müssen, wenn Blattsubstanz absterben soll. Von den drei geprüften Gräsern scheint Mais am wenigsten empfindlich, dann folgt Weizen und dann Roggen. Bei Mais muß die Konzentration über 1 : 10000 betragen, ehe eine Beschädigung wahrzunehmen ist, bei Roggen hingegen treten Beschädigungen schon bei einer Konzentration von 1 : 20000 auf. Bei der Erbse muß die Konzentration ziemlich bedeutend sein, wenn sie Beschädigungen hervorrufen soll; 1 : 11000 bis 1 : 16000 ist noch zu stark verdünnt. Viel empfindlicher ist Phaseolus vulgaris, wo von Keimlingen die Hälfte bei einer Konzentration von 1 : 21300 bis 1 : 24400 beschädigt wurde, während alle starben, als die Konzentration 1 : 13000 bis 1 : 15200 8 Stunden lang einwirkte. Die Grenze, bei welcher keine Beschädigungen mehr auftreten, wurde für die Keimpflanzen nicht ermittelt. Man darf aber wohl annehmen, daß ihre Empfindlichkeit die gleiche ist wie für etwas ältere Pflanzen. Durch eine Konzentration von 1 : 27000 während 9 Stunden wurden die Blätter stark fleckig. Bei einer Konzentration von 1 : 76000, welche in 9 Stunden auf 1 : 96000 hinabging, blieb es zweifelhaft, ob Beschädigungen aufgetreten waren, während in einem zehnstündigen Versuch die Konzentration 1 : 108000, welche am Ende des Versuches bis auf 1 : 130000 zurückgegangen war, ganz schwache Beschädigungen hervorgerufen hatte. Die Versuche, ob nicht bei Einwirkung des Sonnenlichtes die Bohnen viel empfindlicher gegen die Säure sind, als im Dunkeln oder diffusen Tageslichte, ergaben ein negatives Resultat. Bei Konzentrationen von 1 : 116000 und darunter blieben die Pflanzen unbeschädigt. Auch Phaseolus multiflorus wurde bei solchen Konzentrationen nicht beschädigt. Selbst als sie sich $6^1/_2$ Stunden lang zwischen 1 : 82300 und 1 : 87500 bewegten, blieben die Pflanzen vollständig unbeschädigt.

Über Lupinen besitze ich nur wenig Angaben. Die Konzentrationen 1 : 16000 und 1 : 12500 haben die Pflanzen in hohem Maße geschädigt. Ein sehr eigenartiges Verhalten wies die Wicke im Dunkeln auf. Während

die Konzentration 1 : 27000 die Blätter unbeschädigt gelassen hatte und es zweifelhaft blieb, ob Beschädigungen bei einer Konzentration von 1 : 76000 auftraten, wurden einige Flecken beobachtet, als eine Konzentration von 1 : 108000 einwirkte, welche in 10 Stunden auf 1 : 130000 zurückging. Auch hier erwies sich die Annahme, daß Beschädigungen bei Konzentrationen im Sonnenlicht auftreten möchten, bei denen sie im Dunkeln ausblieben, als irrig. Mit der Luzerne wurden Versuche nur im Sonnenlicht angestellt. Als 9 Stunden lang eine Konzentration etwa von 1 : 20000 einwirkte, traten starke Beschädigungen auf. Solche blieben aber aus, als Verdünnungen von 1 : 33500 und weit darunter zur Anwendung kamen. Ganz ebenso wie die Luzerne verhielt sich Kohlrabi, mit dem auch nur im Sonnenlicht experimentiert wurde. Auch für die Kartoffel stellte sich heraus, daß sie im Sonnenlichte nicht erheblich empfindlicher sein kann als im Dunkeln. Bei neunstündiger Einwirkung der Konzentration 1 : 27000 wurden die Blätter fleckig, während es bei stärkeren Verdünnungen wie 1 : 100000 zweifelhaft blieb, ob Beschädigungen aufgetreten waren. Sehr widerspruchsvoll verhalten sich die Keimpflanzen von Helianthus annuus. Bei derselben Konzentration ist ein Teil der Pflanzen beschädigt, ein anderer Teil unbeschädigt. Bei einer Verdünnung von 1 : 33500 sind 16 % beschädigt, während in einem anderen Versuch bei der Konzentration 1 : 15800 kein Exemplar beschädigt wurde. Hier walten also bedeutende individuelle Differenzen ob. In einigen Versuchen mit Allium Cepa, A. ascalonicum und mit Narzisse kamen nur Konzentrationen, welche sich zwischen 1 : 10000 und 1 : 15000 bewegten, zur Anwendung. Während bei den Alliumarten die Blattspitzen beschädigt werden, bleiben sie bei der Narzisse vollständig gesund.

Aus den Angaben über die Versuche mit krautartigen Pflanzen kann man somit entnehmen, daß man nicht eine absolute Konzentration angeben kann, bei welcher für die betreffende Art das Absterben der Zellen beginnt, wenn man als Einwirkungsdauer einen Zeitraum von 8—10 Stunden annimmt. Im allgemeinen erweisen sich die Pflanzen nicht als sehr empfindlich. Es finden sich Fälle, wo eine Konzentration von 1 : 10000 ertragen wird, zahlreicher sind die Fälle, wo eine Konzentration von 1 : 20000 nicht schadet. Und im Durchschnitt wird für alle eine Konzentration von 1 : 40000 unschädlich sein. Vereinzelte Ausnahmen finden sich, bei denen eine viel stärkere Verdünnung noch Blattpartien getötet hat. Individuelle Verschiedenheiten machen sich bei mehreren Pflanzen in bedeutendem Grade bemerkbar. Eine Steigerung der Schädigung durch die Einwirkung des Sonnenlichtes konnte dort, wo die Versuche besonders darauf gerichtet waren, nicht wahrgenommen werden.

Umfangreicher ist mein Material hinsichtlich der Holzgewächse. Beginnen wir mit der Fichte. Es stellt sich heraus, daß, um Schädigungen der Nadeln hervorzurufen, meistenteils sehr hohe Konzentrationen erforderlich sind, und daß sich bei derselben Konzentration verschiedene Zweige ungleich verhalten können. Während ein Zweig bei der Konzentration 1 : 6700 bis 1 : 9800 nicht beschädigt wird, wird ein anderer bei der geringeren Konzentration 1 : 8900 bis 1 : 15000 bereits beschädigt. In dem einen Versuch traten schwache Beschädigungen bei der Konzentration 1 : 14600 auf, welche sich bis auf 1 : 26200 verminderte, während in einem anderen Versuch, wo die Konzentration 1 : 14000 auf 1 : 23500 herabging, der Zweig unbeschädigt blieb. Man wird hier wohl ungefähr die Grenze der wirksamen Konzentration setzen dürfen, wenigstens für diffuses Tageslicht. Bei neunstündiger Einwirkung der Konzentration 1 : 33000 blieb eine Schädigung aus. Vielleicht ist die Fichte im Sonnenlichte ein klein wenig empfindlicher als im diffusen Lichte, denn bei der Konzentration 1 : 27000, welche bis auf 1 : 31500 herabging, traten noch unbedeutende Beschädigungen auf. Nach meinen Versuchen müßte man annehmen, daß die Kiefer etwas empfindlicher wäre als die Fichte, denn bei der Konzentration von 1 : 14600, welche sich bis auf 1 : 26200 verminderte, wurde sie stark beschädigt, andererseits blieb sie gleichfalls unbeschädigt, als sie von der Konzentration 1 : 14000, welche bis auf 1 : 23500 herabging, getroffen wurde. Auch für die Kiefer darf man also hier wohl die Grenze suchen, und wahrscheinlich liegt sie annähernd hier auch für die Tanne, welche bei der Konzentration 1 : 14600 bis 1 : 26200 einige beschädigte Nadelspitzen erkennen ließ, während bei der Konzentration 1 : 15300, welche bis auf 1 : 40000 herabging, alles unbeschädigt blieb.

Viel schwieriger ist es, die Grenze für das Auftreten von Beschädigungen an der Buche festzustellen. Aus den Versuchen im diffusen Tageslichte geht hervor, daß eine Konzentration von 1 : 230000 während vierstündiger Einwirkung schädlich wirken kann. Erheblich stärkere Verdünnungen wie 1 : 415000 und darüber blieben ohne Einwirkung. Dahingegen konnte in einem nahezu 11stündigen Versuch keine Beschädigung durch die Konzentration 1 : 103000 hervorgerufen werden. Ähnliche individuelle Differenzen machen sich auch in den Assimilationsversuchen mit elektrischem Lichte bemerkbar. Die Konzentrationen bis zu einer Verdünnung von 1 : 317000 rufen noch Beschädigungen hervor. Dem Ergebnis stehen nun wieder drei Versuche gegenüber, welche mit den Verdünnungen 1 : 292000, 1 : 283000 und 1 : 227000 ausgeführt wurden; in ihnen traten keine Beschädigungen auf. Sehr überraschend ist, daß in je 2 Versuchen, welche im Dunkeln und im Sonnenlichte bei An-

wendung von Konzentrationen wie 1 : 40000 bis 1 : 50000 ausgeführt wurden, gar keine oder ganz schwache Beschädigungen auftraten. Eine Erklärung für dies abweichende Verhalten wüßte ich nicht zu geben, wenn man nicht auch hier seine Zuflucht zu den individuellen Verschiedenheiten nehmen will. Immerhin muß man bei der Buche damit rechnen, daß sehr starke Verdünnungen, welche 1 : 300000 übertreffen, noch imstande sind, das Absterben von Zellen zu bewirken. Für die Eiche sind die Versuche nicht zahlreich genug, um die Grenze der Widerstandsfähigkeit festzustellen. Bei einer Konzentration von 1 : 50000 wurden die Blätter noch beschädigt. Die Birke muß man als sehr empfindlich betrachten. Die sechsstündige Einwirkung einer Verdünnung von 1 : 108000 rief noch Beschädigungen hervor und eine Konzentration von 1 : 63000 brauchte nur $1^1/_2$ Stunden einzuwirken, um Beschädigungen zu veranlassen. Ahorn wird noch bei einer Verdünnung von 1 : 98000 beschädigt, möglicherweise bei noch stärkerer Verdünnung, doch fehlen mir darüber Angaben. Die Weide zeigte Beschädigungen, als 8 Stunden lang eine Konzentration von 1 : 127000 einwirkte, während eine fünfstündige Einwirkung von 1 : 311800 keine Beschädigungen hervorrief. Die Pappel wurde von einer Konzentration von 1 : 30700 beschädigt, als sie $2^3/_4$ Stunden einwirkte. Sie wird vermutlich in Übereinstimmung mit der Weide noch durch eine viel stärkere Verdünnung geschädigt. Eine ziemlich erhebliche Empfindlichkeit weist der Weinstock auf. Die Konzentration 1 : 149000, welche in $7^3/_4$ Stunden auf 1 : 168000 herabging, beschädigte einen Sproß, während die Topfpflanzen, mit denen Assimilationsversuche im elektrischen Lichte ausgeführt wurden, selbst bei erheblich höherer Konzentration wie 1 : 92000 keine Beschädigungen aufwiesen. Im Gegensatz zu diesen Pflanzen ist der Epheu sehr unempfindlich; denn selbst bei achtstündiger Einwirkung von 1 : 5200 blieb der Zweig unbeschädigt.

Die Angaben über Prunus Laurocerasus, Hainbuche, wilden Wein, Linde, Erle, Haselnuß und Broussonetia papyrifera sind nicht zahlreich genug, um eine Vorstellung von dem Grad der Empfindlichkeit zu erhalten.

Bei Einwirkung der schwefligen Säure in kurzen Zeiträumen erweisen sich im allgemeinen die Holzgewächse als empfindlicher als die krautigen, was ältere Erfahrungen bestätigen würde.

Mit Sicherheit läßt sich in der beschränkten Zahl der von mir ausgeführten Versuche nicht nachweisen, daß die wachsende Lichtintensität die Empfindlichkeit steigert. Bei der Buche wurde sogar das Gegenteil beobachtet, doch mögen hier individuelle Differenzen im Spiele sein.

Ein überraschendes Ergebnis liefert ein Vergleich der Nadel- und Laubhölzer. Für erstere sind im allgemeinen weit höhere Konzentrationen erforderlich als für letztere, damit Beschädigungen auftreten. Man müßte demnach für sie eine geringere Empfindlichkeit als für letztere behaupten. Als sehr empfindlich erweist sich unter den von mir untersuchten Laubhölzern die Buche, und ich möchte glauben, daß es auf diesen Umstand zurückzuführen ist, daß sie einen der ersten Plätze in der Resistenzreihe bei v. Schroeder und Reuß[1]) einnimmt; aber es darf nicht Empfindlichkeit der Blattorgane gegen Säure und Widerstandsfähigkeit des betreffenden Baumes identifiziert werden; es könnte die Buche sehr empfindlich und doch sehr widerstandsfähig sein, da es sich um Beschädigungen handelt, welche nur einen Teil der Blattmasse außer Tätigkeit setzen.

Die vorstehenden Ergebnisse beziehen sich alle auf eine verhältnismäßig kurze Einwirkungsdauer der Säure. Es ist nun sehr wahrscheinlich, daß, da die schweflige Säure, wie wir gesehen haben, in der Zelle gespeichert wird und die eindringende Schwefelsäure selbst in den kleinsten Mengen als chemisches Agens auf die in der Zelle vorhandenen Salze einwirken muß, Schädigungen an den Blattorganen eintreten können, wenn viel stärkere Verdünnungen der Säure lange Zeiträume hindurch auf die Pflanzen treffen. Hierfür sprechen die Erfahrungen aus den Rauchschadengebieten und die Versuche. Wislicenus[2]) gelang es durch Beräuchern mit starker Verdünnung im Räucherhaus eingetopfte Fichten in dem Zeitraum vom 12. Juli bis 24. August zu töten. Die ersten ansehnlicheren Beschädigungen machten sich etwa 14 Tage nach Beginn des Versuches bemerkbar. Mir ist es niemals gelungen, bei der Fichte im Räucherhaus so weitgehende Schäden zu erzielen, wie sie Wislicenus erreicht hat, obgleich ich bei Berechnung des Säuregehaltes ebenso verfahren bin wie er, und ich zeitweilig mit erheblich höherer Konzentration experimentierte als er. Unter diesen Umständen traten an der Buche vereinzelte Flecken an den Blättern auf, welche sich stark vermehrten, als die Pflanzen nach Beendigung des Versuches ins Freie gestellt wurden. Am empfindlichsten erwies sich bei diesen Versuchen im Räucherhaus, welche ich an anderer Stelle eingehend beschreibe, der Weinstock.

---

[1]) l. c. S. 303.

[2]) Resistenz der Fichte gegen saure Rauchgase bei ruhender und bei tätiger Assimilation. Tharander forstliches Jahrbuch, Bd. 48, S. 161. In dieser Publikation ist die Konzentration zu 1 : 1000000 angegeben worden, in einer späteren Veröffentlichung hat Wislicenus diese Angabe verbessert, und danach ist der Gehalt der Luft an schwefliger Säure höher gewesen als 1 : 500000.

Es fragt sich aber, ob diese Beschädigungen als Korrosionen in dem oben definierten Sinne oder als chronische Rauchschäden aufzufassen sind.

Natürlich muß eine Grenze für die Wirksamkeit der Säure vorhanden sein. Schließlich kann man zu einer Verdünnung kommen, aus der die Blätter selbst bei Einwirkungsdauer einer Vegetationsperiode nicht genug Säure entnehmen können, damit eine sichtbare Schädigung auftritt. Es ist schwer zu sagen, bei welcher Konzentration diese Grenze liegt. Wislicenus[1]) kommt auf Grund mehrjähriger Versuche zu dem Schluß, daß bei einer Verdünnung von 1 : 500000 die Grenze für das Auftreten chronischer Schäden an den Fichten in der Natur erreicht wird, während bei den Laubhölzern überhaupt keine chronische Schäden auftreten sollen. Die Grenze für das Auftreten sichtbarer, mit Zerstörung von Blattsubstanz verbundener Schäden muß demnach bei einer höheren Konzentration liegen. Damit steht in gutem Einklang, daß die Korrosionen in den verschiedenen Rauchschadengebieten wenig verbreitet sind und sich meistens nur auf eine kurze Entfernung von der Rauchquelle bemerkbar machen, wenn nicht zufällige größere Gaseruptionen diese Grenze weiter hinausschieben. Vielfach ist es geradezu schwierig, derartige Beschädigungen zu finden, während der Wald auf mehrere Kilometer hin unter der Säure leidet. Die Seltenheit solcher Beschädigungen ist übrigens schon von anderer Seite wahrgenommen worden. Oster[2]) hat darauf hingewiesen, daß diese akuten Beschädigungen selten sind; Reuß[3]) konnte sie im Kattowitz-Myslowitzer Rauchschadengebiet nur im Jagen 26 an einigen Stellen finden. »Das Vorkommen ist im ganzen so unbedeutend, daß es einer besonderen Beachtung nicht bedarf und die weitere Untersuchung sich daher nur mit der chronischen Schadenform zu befassen hat.« Auch Borggreve stellt die große Seltenheit der akuten Beschädigungen fest, »welche so weit geht, daß in den schlimmsten Rauchdistrikten manches Jahr nicht eine einzige vorgekommen ist«[4]).

Beschaffenheit und Entstehung der Korrosionen.

Die durch saures Gas hervorgerufenen Beschädigungen sind je nach dem Grad der Beschädigung verschieden. Bei starker Beschädigung sterben alle Zellen ab, bei schwächerer Beschädigung treten Flecken von geringerem oder größerem Umfange auf, bald ist der Rand bevorzugt,

[1]) Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. Zeitschrift f. angew. Chemie 1901. Heft 28.

[2]) Siehe Anhang.

[3]) Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Winckler'schen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz. Goslar 1893, S. 20.

[4]) l. c. S. 183. These 44.

bald treten die Flecken in dem Gewebe zwischen den Rippen auf. Bei stärkerer Beschädigung können ganze Abschnitte des Blattes getötet werden. In der Form der Flecken ist im allgemeinen nichts Charakteristisches zu erblicken. Sie muß ja auch mehr zufällig sein, da das Absterben von der Gelegenheit abhängt, welche die Säure hat, in ein Blatt einzudringen. Von den Stellen, wo die Säure eindringt, breitet sich die Zerstörung bis zu einer bestimmten Grenze aus. Warum in vielen Fällen gerade der Rand des Blattes angegriffen wird, und zwar eher angegriffen wird als das übrige Gewebe, ist noch vollständig unaufgeklärt.

Ein sehr auffallender Unterschied zwischen den Beschädigungen, welche in den Versuchen hervorgerufen wurden, und den Vorkommnissen aus den Rauchschadengebieten besteht in der Färbung der Flecken. Während bei diesen die Flecken der Blattorgane durch rote, rotbraune und braune Töne ausgezeichnet sind, vermißt man sie in all den oben erwähnten Versuchen. Bei ihnen handelt es sich um eine Verfärbung ins gelbliche, gräuliche und bräunliche, so daß die Flecken gelbgrün oder olivfarben werden. Diese Beobachtung haben auch schon andere Forscher gemacht. So teilen Haselhoff und Lindau[1]) mit, daß in ihren Experimenten mit Birnblättern keine rote, sondern nur dunklere, graubräunliche Flecken mit scharfer dunkler Randlinie auf traten. Sie sind geneigt, diese Erscheinung auf die Anwendung sehr großer Dosen von Gift zu schieben. Unverkennbar haben die beiden Autoren durchgehends in ihren Versuchen dieselbe Beobachtung gemacht wie ich, daß die charakteristischen Verfärbungen, welche die Blattorgane unter Einwirkung des Rauches erleiden, bei den Experimenten nicht auftreten, wenn sie auf S. 81 in ihrer Schilderung fortfahren: »Alle diese geschilderten Blattbeschädigungen kommen nur zustande, wenn die schweflige Säure in längeren Zeiträumen und in kleinen Dosen einwirken kann. Wir sehen daher so gefärbte Blätter hauptsächlich in der Nähe von Hüttenanlagen, Schwefelsäurefabriken usw., dagegen treten beim Experiment, wenn große Mengen sehr schnell wirken, meist andere Erscheinungen auf. Gewöhnlich kommt es dann überhaupt nicht zu einer so charakteristischen Fleckenbildung und Rotfärbung. Entweder kann die Nervaturzeichnung auftreten, oder aber es sterben die Blätter so schnell ab, daß es zu äußeren Reaktionen kaum kommt. Man findet dann zwar Mißfärbung, niemals aber Fleckenbildung mit Rötung der Blattsubstanz.« Die Verfasser sehen also in dem langsamen Ausleben der Zellen die Bedingung für das Auftreten der roten Färbung bei der Einwirkung der schwefligen Säure. Das läuft im wesentlichen auf die An-

[1]) l. c. S. 79.

sicht von Sorauer[1]) hinaus, der auf Grund seiner Untersuchungen zu dem Schluß kommt, daß die von Hartig[2]) in den Schließzellen rauchbeschädigter Fichten beobachtete karmoisinrote Färbung nur auftritt, wenn die Zellen langsam absterben können. Da die Verfasser nicht angeben, mit welchen Konzentrationen sie ihre Versuche ausgeführt haben, so läßt sich auch nicht beurteilen, ob das Ausbleiben der roten Färbung bei ihren Beschädigungen auf eine zu hohe Konzentration oder auf ein zu plötzliches Absterben zurückzuführen ist. Aus den mir genau bekannten Verhältnissen meiner eigenen Versuche muß ich aber die Richtigkeit der Auffassung von Haselhoff und Lindau anzweifeln. Unzweifelhaft spielt die Schnelligkeit, mit welcher die Zellen absterben eine Rolle mit, aber sie ist nicht die ausschließliche Ursache, denn die Erscheinung bleibt in den Versuchen auch aus, wenn das Absterben langsam erfolgt, falls, wie bei der Buche, mehrere Tage zwischen der Einwirkung der Säure und dem Sichtbarwerden der Beschädigungen verstreichen. Andererseits tritt die rote Farbe bei Beschädigungen, welche nicht durch saure Gase aber in kurzer Zeit erfolgen, auf. Es muß also noch ein weiterer Faktor mitwirken, und dieser Faktor scheint mir das Licht zu sein. Die meisten der oben aufgeführten Versuche mit Holzgewächsen sind in diffusem Tageslichte, wie es in den Laboratoriumsräumen herrscht, oder in elektrischem Licht, welches auch nicht intensiver als diffuses Tageslicht ist, ausgeführt worden. Bei den wenigen in direktem Sonnenlicht ausgeführten Versuchen mit Zweigen sind entweder überhaupt keine Beschädigungen aufgetreten, oder aber sie sind sehr unbedeutend gewesen und sind erst entstanden, als die Zweige nicht mehr dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt waren. Ähnlich mag es auch anderen Experimentatoren gegangen sein, welche ihre Versuche im Laboratorium ausführten. Im Räucherhause hingegen sind die typischen Schäden zu erhalten, was Wislicenus' Versuche mit der Fichte und meine eigenen mit Laubhölzern beweisen. Hier könnte nun vielleicht der Einwand erhoben werden, daß es sich um die Einwirkung sehr verdünnter Säure handelt. Ich möchte aber bezweifeln, daß dieser Einwand auf die Buche zutrifft. In dem einen Assimilationsversuch im elektrischen Licht kam eine Konzentration von 1 : 320000 zur Anwendung, bei welcher schließlich Beschädigungen der Blätter aufgetreten sind. Wenn nun auch in den Räucherhausversuchen begonnen wurde etwa mit der Konzentration 1 : 500000, so ist doch die Konzentration im Verlaufe des Versuches bedeutend gestiegen, wie ich an anderer Stelle

[1]) Über die Rotfärbung der Spaltöffnungen bei Picea. — Notizblatt des kgl. botanischen Gartens und Museums zu Berlin. No. 16, 1898, S. 245.

[2]) Über die Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauches auf die Gesundheit der Nadelwaldbäume. München 1896.

auseinandergesetzt habe. Andererseits sehen wir das Auftreten des roten Farbstoffes bei anderen Tötungsarten im Licht, auch wenn die Blätter schnell absterben. Ich hatte einige Male Gelegenheit, das Absterben von Blättern und Nadeln im Räucherhause bei zu hoher Temperatur zu beobachten. Durch unterbliebene Schattierung war an sehr sonnigen Tagen die Temperatur so hoch gestiegen, daß die Blätter unter Rotbraunfärbung abstarben. Auch als im freien Lande wurzelnde jüngere Exemplare der Buche unter Glasglocken eingeschlossen werden sollten, ereignete sich ein derartiges Absterben durch eine zu bedeutende Temperatursteigerung. Durch die rotbraune Färbung sehen solche Blätter wie verbrannt aus, ohne es im strengen Sinne des Wortes zu sein. Jedenfalls müssen hierbei die Zellen schnell absterben. Tötet man aber im Laboratorium die Blätter durch hohe Wärmegrade, etwa durch Wasserdampf, so tritt nur eine andere Nuance des grünen Farbstoffes auf. Auch durch Chloroformdämpfe kann man die Blätter töten, und dann nehmen sie ein Aussehen an wie die durch schweflige Säure getöteten Blätter. Nach dem Gesagten wird es nicht überraschen, daß sich die Holzgewächse gegenüber der Salzsäure ebenso verhalten wie gegen die schweflige Säure. Auch hier treten die rotbraunen Färbungen nur bei den Versuchen auf, welche im Räucherhause ausgeführt wurden; in den Laboratoriums-Versuchen blieben sie aus. Es steht mit meiner hier entwickelten Ansicht vollkommen im Einklang, daß auch im Freien nicht immer der rotbraune Farbenton an verletzten Blättern auftritt. So habe ich mitten aus einem Bestand im Probsteywalde bei Stolberg (40) beschädigte Buchenblätter genommen, welche nicht den charakteristischen rotbraunen Ton aufwiesen, sondern gräulich-bräunlich waren. Wenn man sein Augenmerk darauf richtet, wird man gewiß mehr derartige Fälle finden können. Das Ausbleiben der rotbraunen Färbung schiebe ich hier auf die Entstehung der Beschädigung unter Ausschluß des direkten Sonnenlichtes.

Der rotbraune Farbstoff beschädigter Blattorgane leitet sich unzweifelhaft vom Gerbstoff ab und giebt infolgedessen auch eine Reihe der Reaktionen, welche dieser gibt. Ich bin mir vollkommen klar, daß damit kein präziser chemischer Begriff verbunden ist, und daß es sich hier um eine Gruppe von Körpern handelt, welche bestimmte gemeinsame Reaktionen besitzen, vor allen Dingen mit Kaliumbichromat einen braunen Niederschlag geben. Die Blattorgane unserer gewöhnlichen Bäume und unserer Holzgewächse überhaupt sind reich an Gerbstoff; vielfach kommt er besonders bei den Laubhölzern in den Palisadenzellen als großer Tropfen im Zentrum oder als kleine Vakuole im oberen Ende der Palisadenzelle vor. Dieser Gerbstoff ist das Material, aus dem der rote Farbstoff hervorgeht. Wie er sich

aus jenem bildet, ist bisher unbekannt, jedenfalls handelt es sich nicht um einen bloßen Oxydationsvorgang durch den Luftsauerstoff, denn dann müßte die Färbung in jedem Falle auftreten, wo eine gerbstoffführende Zelle abstirbt, was aber, wie unsere obigen Darlegungen gezeigt haben, nicht der Fall ist. Die chemischen Vorgänge, welche sich in den dem Tode geweihten Zellen abspielen, müssen also bei Gegenwart oder Abwesenheit von Sonnenlicht verschieden verlaufen. Der Vorgang dürfte sich der Bildung der Phlobaphene in den Rinden und der Bildung der Farbstoffe in den Kernhölzern beim Absterben ihrer gerbstoffhaltigen Zellen anschließen nur mit dem Unterschiede, daß in diesen beiden Fällen die Bedingung für Auftreten der Färbung bereits vorhanden ist, während sie bei den Blättern erst durch das Sonnenlicht geschaffen wird.

Vermutlich ist auch das Auftreten der roten Färbungen in den Schließzellen beschädigter Fichtennadeln, welche R. Hartig als eine spezifische Reaktion der Fichte auf schweflige Säure betrachtete, auf eine Mitwirkung des Sonnenlichtes zurückzuführen. Diese Rotfärbung tritt unter den verschiedensten Umständen auf und ist nicht an die Einwirkung der schwefligen Säure gebunden[1]). Ja sie kann in mit schwefliger und mit Salzsäure ausgeführten Versuchen sogar ausbleiben, während sie in beschädigten Nadeln im Freien und unter den verschiedensten Versuchsbedingungen, welche zum Tode der Schließzellen führten, auftraten. Ich nahm früher an, daß jedwede Tötungsursache die rotbraune Färbung in den Schließzellen hervorruft, und daß, wenn sie in den Säureversuchen ausblieb, das einer dem Auftreten entgegenwirkenden Reaktion der Säure zu verdanken wäre. Sorauer[2]) hat dann auf Grund seiner Versuche gezeigt, daß meine Ansicht eine Einschränkung erfahren müßte. Nach ihm soll die Färbung nur auftreten, wenn die Nadel Zeit hat, langsam auszuleben. Hieraus würde sich ganz gut erklären lassen, warum in meinen damaligen Säureversuchen die Färbung meistenteils ausblieb, da mir meine Einrichtungen nicht gestatteten, die Säurekonzentration nach Belieben zu regulieren. Die Tötung fand also meistens durch hohe Konzentrationen und schnell statt. Wenn ich nun nicht verkenne, daß die Schnelligkeit, mit welcher eine Zelle abstirbt, in allen Fällen, wo es sich um das Auftreten der Färbung handelt, bis zu einer bestimmten Grenze mit in Betracht kommen wird, so kann ich doch in diesem Umstand nicht die wesentliche Bedingung erblicken. Vielmehr möchte ich auch für das Auftreten der Verfärbungen in den Schließzellen das Licht

[1]) Wieler, Über unsichtbare Rauchschäden bei Nadelbäumen. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen 1897, 29.

[2]) l. c.

verantwortlich machen. Hartig[1]) hat seine Versuche im Sonnenlicht angestellt. Seine makroskopische Probe zur Erkennung der Rauchbeschädigungen bestand darin, daß er die angeblich beschädigten Fichtenzweige in die Sonne legte. Dann fallen die mit roten Schließzellen versehenen Nadeln ab. Auch beim Auftreten der Färbung an irgendwie beschädigten Nadeln im Freien ist dem Sonnenlicht Gelegenheit geboten mitzuwirken. Während bei meinen Säureversuchen, welche im Laboratorium ausgeführt wurden, die Erscheinung in den meisten Fällen an den beschädigten Nadeln nicht zu beobachten war, ist sie in den Versuchen von Wislicenus[2]) im Räucherhause, wo das Licht einwirken konnte, aufgetreten. Vermutlich hat Sorauer seine Versuche auch im Sonnenlicht ausgeführt.

Wenn das Auftreten der rotbraunen Farbe in durch Säure beschädigten Blättern an Gerbstoff gebunden ist, so muß diese Färbung stets bei denjenigen Pflanzen ausbleiben, deren Blätter keinen oder nur wenig Gerbstoff enthalten. Hierin ist der Grund zu suchen, warum Hartigs Reaktion nicht in den Schließzellen aller Koniferen auftrat, sondern z. B. bei Lärche, Tanne, Kiefer und Weimutskiefer ausblieb. Wo Gerbstoff fehlt, müssen die Flecken rauchbeschädigter Blätter natürlich einen anderen Farbenton annehmen. Sie können weiß oder gelblich werden. Beispielsweise sind die beschädigten Blattpartien bei Sambucus nigra[3]), Klee und Luzerne[4]) weiß, bei Hafer[5]) und Daucus Carota[6]) gelblich. Wenn ich diese Pflanzen nun auch nicht auf ihren Gerbstoffgehalt untersucht habe, so zweifle ich doch nicht daran, daß der Gerbstoff ihnen fehlt oder nur in geringer Menge vorhanden ist. Bei anderen Pflanzen sollen als Folge von Rauchbeschädigungen schwarze Flecken auftreten, z. B. bei Taraxacum officinale und Georgine. Dieser Verfärbung muß ein anderes Chromogen zugrunde liegen. Eine derartige Annahme wird durch das Verhalten solcher Pflanzen gerechtfertigt, welche sich beim Absterben schwarz färben, und deren Verfärbung durch Zerstörung des Chromogens hintangehalten werden kann, indem man sie kocht oder entsprechend mit verdünnter Salzsäure behandelt[7]).

---

[1]) l. c. S. 7.

[2]) Resistenz der Fichte gegen saure Rauchgase bei ruhender und tätiger Assimilation. — Tharander forstl. Jahrb. Bd. 48, S. 168.

[3]) Haselhoff und Lindau l. c. S. 81.

[4]) Haselhoff und Lindau l. c. S. 77.

[5]) Haselhoff und Lindau S. 76.

[6]) Hasenclever, Über die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. — Chemische Industrie 1879. Enthält eine farbige Abbildung des beschädigten Blattes.

[7]) de Vries, Eine Methode zur Herstellung farbloser Spirituspräparate. Ber. d. d. bot. Ges. Bd. VII, 1889, S. 298.

Mikroskopische Untersuchung der Korrosionen.

Meine Untersuchung der Flecken rauchbeschädigter Blätter von Laubhölzern hat ergeben, daß unter der Rauch- oder Säureeinwirkung charakteristische Beschädigungen, welche anatomisch zu erkennen wären, nicht auftreten. In ganz analoger Weise treten die durch andere Ursachen hervorgerufenen Beschädigungen auf. Ich kann damit also nur andere Erfahrungen bestätigen. Das Ergebnis kann auch nicht sonderlich überraschen, denn der Tod der Zelle muß ja, so verschiedenartig auch die Todesursache sein mag, in derselben Weise erfolgen. Viel bedeutsamer für die Art des Auslebens der Zelle als die Todesursache sind die begleitenden Umstände, unter denen der Tod erfolgt. Wir haben schon oben gesehen, welche Bedeutung meiner Ansicht nach der Einwirkung des Lichts beizumessen ist. Auch der Umstand, ob die Zelle langsam oder schnell zugrunde geht, kann wohl für das anatomische Bild entscheidend sein, aber schließlich kann ja jede Todesursache in verschiedener Intensität auftreten, von der wesentlich die Geschwindigkeit abhängt, mit welcher die Zelle abstirbt. Man kann von vornherein einen Unterschied in der Inhaltsbeschaffenheit der schnell und langsam durch die Säure getöteten Zellen erwarten. Bei der schnellen Abtötung durch verhältnismäßig hohe Säurekonzentrationen wird man erwarten dürfen, daß der Inhalt fixiert wird, da ja Säuren diese Eigentümlichkeit zukommt, wie die Mikrotomtechnik beweist. Bei einem langsamen Absterben können selbstverständlich viel kompliziertere Veränderungen Platz greifen und man wird dementsprechend auch ein anderes mikroskopisches Bild erwarten dürfen. Wie die Mitwirkung des Sonnenlichtes dasselbe beeinflussen kann, wurde oben angedeutet.

Von mir sind die durch schweflige Säure hervorgerufenen Flecken bei der Buche, der Eiche, der Birke und dem Weinstock näher untersucht worden. Die Stellen, deren Zellen getötet werden, trocknen aus, denn der Wassergehalt der Gewebe ist bei den in der Luft lebenden Blättern an die Gegenwart lebender Zellen gebunden. In den Flecken ist das Gewebe demgemäß viel brüchiger als in den anderen Teilen des Blattes, es erhält auch seine ursprüngliche Geschmeidigkeit nicht wieder, wenn man es in Wasser aufweichen läßt. Es müssen hier Veränderungen namentlich in der Membran vor sich gegangen sein; es macht den Eindruck, als ob die Membranen eine schwache Verholzung erfahren hätten, und dann müßten wir hier einen Vorgang annehmen, wie er sich etwa beim Übergange des Splintholzes in das Kernholz abspielt. Dieser Vorgang ist mit einer Einlagerung neuer Stoffe in die Membran, wobei wir es dahingestellt sein lassen, ob das auf physikalischem oder chemischem

Wege geschieht, gleichzeitig aber auch mit einer Verminderung des Wassergehalts verbunden. Da die Membranen in den Flecken gefärbt sind, so kann man mit den üblichen Reagentien auf Verholzung keine Reaktion erhalten. Dahingegen ist mir wiederholt aufgefallen, daß von solchen Wänden Methylenblau mit einem grünen Ton gespeichert wird, während den Wänden des gesunden Mesophylls diese Eigentümlichkeit nicht zukommt. Es ist bekannt, daß die verholzte Membran den Farbstoff in der angegebenen Weise speichert, und man konnte sich leicht davon überzeugen, daß es auch in den Holzteilen des Gefäßbündels gesunder Blätter geschieht. Diese Reaktion in den Wänden der Mesophyllzelle konnte bei allen untersuchten Laubbäumen beobachtet werden. Legt man die Schnitte in eine Methylenblaulösung, so färben sich zunächst alle Membranen des Mesophylls blau, die der getöteten Zellen aber viel langsamer, dann aber nehmen sie einen grünlichen Ton an. Wäscht man die so gefärbten Präparate mit Glyzerin aus, so werden die Membranen der lebendigen Mesophyllzellen wieder farblos, während in den getöteten Zellen der grüne Farbenton der Membranen ebenso wie in den verholzten Membranen der Gefäßbündel erhalten bleibt. Möglicherweise ist diese Reaktion charakteristisch für Rauchbeschädigungen der Blätter bei Laubhölzern, besonders bei langsamem Absterben der Zellen durch die Säure. In einem Laboratoriumsversuch konnte an einem mit schwefliger Säure beräucherten Buchenzweige, wo also die Tötung in verhältnismäßig kurzer Zeit erfolgte, die Reaktion auch beobachtet werden. Dahingegen färbten sich die Wände der Mesophyllzellen mit Methylenblau nicht grünlich, wenn die Buchenblätter durch hohe Temperaturen unter einer Glasglocke im Freien getötet wurden. Daß die Reaktion nicht etwa die Folge eines langsamen Absterbens der Zellen ist, geht einerseits aus dem erwähnten Laboratoriumsversuch mit schwefliger Säure hervor, wird andererseits dadurch bewiesen, daß die Reaktion nicht in dem Mesophyll der normal abgestorbenen und vertrockneten Buchenblätter zu erhalten ist. Als solche Blätter am 26. Dezember abgepflückt und untersucht wurden, nahmen die Membranen willig den blauen Farbstoff auf, verloren ihn aber wieder vollständig beim Auswaschen mit Glyzerin.

Übrigens bewahren, was hier gleich erwähnt sein mag, derartige Blätter ebenso wie die im Herbst abgefallenen die alte Elastizität der Zellmembranen, so daß auch das Brüchigwerden der Gewebe in den Flecken nicht auf das bloße Ausleben der Zellen zurückzuführen ist, sondern daß hier tatsächlich pathologische Veränderungen der Gewebe vorliegen. Der Wasserverlust dieser pathologisch veränderten Gewebe ist irreparabel, während die normalen Gewebepartien der Blätter wohl durch Austrocknen brüchig werden, aber bei Wasserzufuhr ihre alte Geschmeidigkeit

wieder erlangen. Hieraus erklärt es sich auch, daß sie sich schnell mit Methylenblaulösung färben, während die Färbung in den Flecken sehr langsam auftritt, um aber dann auch um so nachhaltiger zu sein.

Ich habe nun auch angeblich durch Säure beschädigte Fichten-, Kiefern- und Lärchennadeln untersucht. Die Membranen der Mesophyllzellen färben sich alle gleichmäßig blau, ohne daß beim Auswaschen mit Glyzerin ein grüner Farbenton aufgetreten wäre. Es bedarf noch weiterer Untersuchung, ob sich unter den gleichen Umständen die Nadel- und Laubhölzer verschieden verhalten, oder ob diese angeblichen Rauchbeschädigungen gar keine gewesen sind.

Der Eigentümlichkeit der beschädigten Blattpartien der Laubblätter, durch Veränderung der Membranen brüchig zu werden, ist es zuzuschreiben, daß unter der Einwirkung der Atmosphärilien an ihnen eine vollständige Vernichtung der Blattsubstanz eintritt und Löcher bemerkbar werden. Dem Brüchigsein ist es ferner zuzuschreiben, daß sich die Gewebe so schlecht schneiden lassen, indem sie, namentlich wenn sehr dünne Schnitte erforderlich werden, leicht unter dem Messer in kleine Partikelchen zerspringen. Das gilt ganz besonders vom Weinstock. Einbetten in Stearin oder Paraffin oder Behandeln mit Nelkenöl, wodurch Lange[1]) beim Holz so gute Resultate erzielt hatte, besserte nichts Wesentliches. Verhältnismäßig gut ließen sich die beschädigten Blätter von Buche, Eiche und Birke schneiden.

Was die Veränderungen der Gewebe als solche anbelangt, so verhalten sich die von mir untersuchten Blätter ganz anders als die von Lindau[2]) beschriebenen. Die Abbildungen, welche er von Roggenblättern und von Nadeln der Kiefer und der Lärche gibt, zeigen das Gewebe an den beschädigten Stellen in einer derartigen Verzerrung, daß von den einzelnen Zellen nichts mehr zu erkennen ist. Sogar auf die Gefäßbündel erstrecken sich diese Verzerrungen. Davon habe ich bei meinen Untersuchungsobjekten nie etwas gesehen. Die Gewebe sind durch den Wasserverlust zusammengesunken, auch zeigen die Membranen im Schwammparenchym hier und dort Verbiegungen; aber diese Veränderungen lassen sich wieder ausgleichen, sei es durch Zusatz von Wasser, oder, wenn dieses nicht ausreicht, von Eau de Javelle. Ein kürzerer oder längerer Aufenthalt in demselben stellt die alten Formen vollkommen wieder her, natürlich leiden dabei die Inhaltsstoffe, und solche Schnitte sind nicht zur Untersuchung der Veränderungen im Zellinhalt geeignet. Den extremsten Fall von Kollabieren der Gewebe habe ich bei der Birke erlebt. An den

---

[1]) Beiträge zur Kenntnis der Entwicklung der Gefäße und Tracheïden. Diss. Leipzig 1891. S.-A. aus Flora 1891.

[2]) Haselhoff u. Lindau l. c. S. 86—91.

Blättern eines Topfexemplars, welches im Räucherhause mit schwefliger Säure beräuchert worden war, waren kleine braune Flecken aufgetreten, die überraschenderweise bei durchfallendem Licht transparent und heller erschienen als das übrige unverletzte Gewebe, während man das Gegenteil hätte erwarten sollen. Auf S. 96 sind beschädigte Birkenblätter abgebildet, von zwei verschiedenen Exemplaren aus verschiedener Zeit. Die oberen drei Blätter gehören dem einen Exemplar an. Die Beschädigungen sind an den Blättern von verschiedener Intensität. Je heller die Flecken sind, um so stärker ist die Beschädigung, denn der pathologische Farbstoff hält das Licht stark ab, wodurch bei dem Selbstdruck ein heller Fleck auf dem photographischen Papier entsteht. Die beiden unteren von dem anderen Exemplar herrührenden Blätter zeigen analoge Flecken aus denselben Ursachen. Daneben treten dann auf dem größeren der beiden Blätter dunkle Punkte auf, welche den transparenten hellen Flecken entsprechen. In diesen Flecken ist alles Gewebe so stark kollabiert, daß die Intercellularräume verschwunden sind und das Gewebe luftfrei geworden ist. Nur mit Mühe sind die einzelnen Zellformen zu erkennen.

Dieser Fall erinnert vielleicht entfernt an die gewaltigen Schrumpfungserscheinungen, welche Lindau abbildet. Vielleicht mag auch hier etwas Verquellung mit im Spiele sein. In beschränktem Maße mag sie gelegentlich hier und da bei den Palisadenzellen der beschädigten Blätter der verschiedenen Arten auftreten, aber die allgemeine Regel ist es durchaus nicht, und sie wird auch niemals so bedeutend wie etwa bei der Bergkiefer, wo nach Lindau die Membranen etwas verquellen und die Aus- und Einstülpungen, die dem Parenchymgewebe der Kiefer ein so eigentümliches Gepräge geben, sich völlig ausgleichen. Schade, daß es nicht näher untersucht worden ist, wie dieser Ausgleich bewirkt wird!

Mit dem Verluste der Turgeszenz infolge des Absterbens der Zellen können sowohl Epidermis wie Palisaden- und Schwammparenchym kollabieren. Bis zu einer bestimmten Grenze werden die entspannten Membranen sich elastisch zusammenziehen, darüber hinaus Falten werfen. Bei der Epidermis und den Palisadenzellen geschieht das im wesentlichen nur in einer Richtung und zwar in der zur Blattfläche senkrechten, während sie beim Schwammparenchym durch die Gestalt und Anordnung der Zellen begünstigt, nach mehreren Richtungen hin gleichzeitig erfolgen kann. Eventuelle Verzerrungen haben deshalb mehr Aussicht, im Schwammparenchym aufzutreten. Daß in den von mir untersuchten Blättern derartige Verzerrungen, wie sie Lindau beschreibt, nicht vorkommen, könnte vielleicht mit den Veränderungen, welche die Zellwände, wie wir oben gesehen haben, erleiden, zusammenhängen, sonst müßten die Verschiedenheiten auf dem ungleichen anatomischen Bau der Nadeln und der Roggenblätter einerseits

und der Blätter der Laubhölzer andererseits beruhen; denn nach den wenigen Worten, welche Lindau den Kirsch- und Birnblättern widmet, müssen sich diese wie die von mir untersuchten Blätter verhalten.

Alle Schnitte durch die Flecken lassen erkennen, daß der Inhalt der Zellen sich bei ihrem Absterben von der Wand zurückzieht. Das trifft auch für die von Lindau und R. Hartig untersuchten Blattorgane zu. Augenscheinlich ist es diese Erscheinung, welche die beiden Autoren und mit ihnen Wislicenus allerdings mit Unrecht als Plasmolyse bezeichnen. Der Begriff der Plasmolyse ist von de Vries[1]) in die Wissenschaft eingeführt worden. »Ich bezeichne damit die Ablösung des lebenden Protoplasmas von der Zellwand durch wasserentziehende Mittel.« An anderer Stelle hebt er ausdrücklich hervor, daß nicht jede Ablösung des Plasmas von der Zellwand unter den Begriff der Plasmolyse falle, daß z. B. Alkohol, da er gleichzeitig das Plasma töte, wohl eine Loslösung des Plasmas bewirke, aber nicht die Zelle plasmolysiere. Die Plasmolyse ist ein Vorgang an der lebendigen Zelle und läßt sich durch Auswaschen der wasserentziehenden Stoffe wieder beseitigen. Die Plasmolyse ist ja gerade ein ausgezeichnetes Hilfsmittel geworden, um festzustellen, ob eine Zelle lebendig ist. Übrigens ist die von de Vries gegebene Erklärung für Plasmolyse in alle Handbücher und Lehrbücher übergegangen, und es ist überraschend, daß die genannten Autoren sich wahrscheinlich durch die philologische Bedeutung haben verleiten lassen, dem Worte einen ganz anderen Begriff unterzulegen. Selbstverständlich ist das ganz unzulässig und durchaus zu beanstanden, da dadurch eine außerordentliche Verwirrung einreißen muß, namentlich für diejenigen Kreise, welche mit solchen physiologischen Vorstellungen nicht vertraut sind. Alle mit Absterben verbundenen Kontraktionen des Protoplasmas, selbst wenn sie durch wasserentziehende Mittel hervorgerufen werden, fallen nicht unter den Begriff der Plasmolyse, also auch nicht die Kontraktionen in den durch Säure getöteten Zellen.

Von den Inhaltsstoffen der Zellen sind der Gerbstoff mit seinen eventuellen Derivaten und die Chloroplasten am bemerkenswertesten. Bei schnellem Absterben der Zelle dürfen wir erwarten, daß das Plasma und die Chloroplasten in ihrer Gestalt erhalten bleiben, indem der gesamte Inhalt gleichsam durch die Säure fixiert wird. In anderen Fällen, es ist nicht anzugeben unter welchen Umständen, haben die Chloroplasten besonders große Dimensionen angenommen, der übrige Raum der Zelle zwischen ihnen ist gleichsam ausgegossen durch den vom Gerbstoff her-

---

[1]) Untersuchungen über die mechanischen Ursachen der Zellstreckung, ausgehend von der Einwirkung von Salzlösungen auf den Turgor wachsender Pflanzenzellen. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1877, S. 10.

rührenden Farbstoff. Dies Anschwellen der Chloroplasten wurde beim Weinstock und bei der Buche beobachtet, aber ganz unregelmäßig. Namentlich bei letzterer treten in den Flecken kleine Gruppen oder einzelne Zellen, zuweilen auch größere Gruppen solcher Zellen auf. Mit Jod-Jodkalium färben sich diese Chloroplasten blau, ein Zeichen, daß sie mit Stärke erfüllt sind. Eine scharfe Unterscheidung des Stärkegehaltes von dem eigentlichen Chloroplasten ist nicht möglich. Man muß annehmen, daß das Anschwellen der Chloroplasten auf das Anwachsen des Stärkegehaltes zurückzuführen ist, indem vielleicht die Ableitung der Kohlehydrate aus der Zelle und den Chloroplasten im besonderen unterbunden war. Es wäre dann auch in diesem Falle der in dem Augenblick, wo die Zelle starb, bestehende Zustand fixiert worden. Viel häufiger sind andere Vorkommnisse. In manchen Fällen erscheint der Inhalt der Zellen vollständig homogen als eine rotbraune Masse, in der nichts deutlich zu erkennen ist, also auch keine Chloroplasten. In diesen Fällen bleibt es zweifelhaft, ob die Chloroplasten verschwunden, vielleicht aufgelöst sind, oder ob sie nur durch die Beimischung anderer Stoffe unkenntlich geworden sind. In anderen Fällen sind die Chloroplasten vorhanden, aber ihre Konturen lassen sich nicht mehr deutlich erkennen, oder ihre Anwesenheit bleibt bei direkter Beobachtung zweifelhaft; dann verrät sich ihre Gegenwart häufig bei Anwendung von Jod-Jodkalium. Ein noch weiter vorgeschrittenes Stadium zeigt ein Verschmelzen von Chloroplasten miteinander, sodaß biskuit- und wurstförmige Gebilde entstehen, welche meistens wandständig auftreten. Schließlich kommen auch Stadien vor, in denen nichts mehr von Chloroplasten wahrzunehmen ist. Der Zustand der Chloroplasten kann wohl ein Maßstab für den Grad der Beschädigungen sein, gibt aber keinen Aufschluß über die Ursache derselben.

Im nachstehenden lasse ich detailliertere Angaben über die Gestalt der Flecken und ihre anatomische Beschaffenheit folgen. Die Blätter wurden im getrockneten Zustande, einzelne außerdem im frischen Zustande untersucht.

1. Buche.

Zunächst wurde eine Topfbuche untersucht, welche im Räucherhause beräuchert, dann ins Freie gestellt worden war und hier die typischen Säureflecken ausgebildet hatte. Das Blatt war am 20. August abgepflückt und zum Trocknen zwischen Papier gelegt worden. Die Untersuchung geschah an diesem Herbarmaterial.

Der Farbenton der Blätter war gelblich, mit einem schwachen Schein nach rot. Die rotbraunen Flecken treten vorwiegend am Rande auf, erstrecken sich von hier aus in die Interkostalfelder und sind von wechselnder Größe. Daneben finden sich auf den Interkostalfeldern einzelne

rotbraune Flecken. Alle Flecken sind scharf umgrenzt, ihr Gewebe ist natürlich tot. Betrachtet man die Blätter von der Oberseite mit einer Lupe, so bemerkt man, daß der rötliche Schimmer, welcher der gelblichen Farbe beigemischt ist, von zarten roten Flecken größeren oder geringeren Umfanges herrührt. Die Farbe hat ihren Sitz in roten Klumpen oder Kugeln in der Epidermis. Sie kommen auch in der Epidermis der Unterseite vor. Derartige Epidermiszellen scheinen tot zu sein, jedenfalls gelang es mir nicht, sie zu plasmolysieren. An diesen Stellen ist auch das Mesophyll nicht unbeeinflußt geblieben. In einem Teil der Palisadenzellen sind die Chloroplasten noch vorhanden, in einem anderen Teil scheinen sie zu fehlen oder sind nur Überreste vorhanden. Es ist nicht wahrscheinlich, daß diese Zellen beim Abpflücken des Blattes tot waren, vielmehr muß angenommen werden, daß bereits die herbstliche Auflösung eingesetzt hatte. Wie die Palisadenzellen verhielten sich auch die Zellen des Schwammparenchyms.

In den rotbraunen Flecken ist alles Gewebe tot. Die oben erwähnten rotbraunen Klumpen und Kugeln finden sich hier in den Epidermiszellen wieder. Außerdem treten bräunliche Massen in den Palisaden- und Schwammparenchymzellen auf, die beim ersteren namentlich im oberen Teil liegen. Im übrigen machen die Zellen den Eindruck, als ob der Inhalt aus einer gleichartigen stark lichtbrechenden Masse bestände. Die Gegenwart von Chloroplasten oder von Überresten derselben läßt sich nicht mit Sicherheit erweisen.

Ein etwas anderes Bild erhielt man, als die rotbraunen Flecken an einem anderen Blatt derselben Pflanze untersucht wurden, das, nachdem es sich am Baum ausgelebt hatte, abgefallen war. Bis auf die beschädigten Stellen sah es normal herbstlich braun aus. Die Mesophyllzellen hatten keinen Inhalt mehr, da sie auf normale Weise entleert worden waren. In den Flecken hingegen war der gesamte Inhalt vorhanden, obgleich sie zu derselben Zeit wie bei dem vorstehenden Blatt entstanden sein müssen. Die Epidermiszellen haben bräunlichen Inhalt. Die Chloroplasten sind unverhältnismäßig groß und scheinen in ein dunkelbraunes Medium eingebettet zu sein. In den Chloroplasten lassen sich auch noch Stärkekörner nachweisen. Braune Klumpen finden sich in dem Schwammparenchym und besonders in dem oberen Teil der Palisadenzellen.

Eine befriedigende Erklärung für das ungleiche Verhalten der beiden von derselben Buche stammenden Blätter ist nicht zu geben. Vielleicht sind die Randpartien, welche beim zweiten Blatt untersucht wurden, schneller abgestorben, als der Fleck auf dem Interkostalfeld des ersten Blattes. Sollte diese Annahme richtig sein, so durfte erwartet werden, daß wie bei dem zweiten Blatt auch in den Versuchen, wo die Tötung

durch die Säure in kurzer Zeit erfolgt, der Inhalt der Zellen erhalten bleibt. Ich habe deshalb die Blätter von zwei Buchenzweigen welche, im Laboratorium mit schwefliger Säure und Salzsäure beräuchert wurden und entsprechend der hohen Konzentration schnell abstarben, untersucht.

Die mit schwefliger Säure beräucherten Blätter haben ihre Farbe vollständig geändert; sie haben einen grauen Farbenton mit einem Stich ins Oliv angenommen. Die Verfärbung beschränkt sich auf die Palisadenzellen. Die Epidermis ist inhaltsleer und das Schwammparenchym ist kaum verändert. Auch in den Palisadenzellen sind die Chloroplasten erhalten, sind aber ebenso wie die im Schwammparenchym stärkefrei. Das ist natürlich keine pathologische Erscheinung, sondern rührt daher, daß die Zweige bereits die Assimilate abgeleitet hatten, als sie zu den Versuchen benutzt wurden. Stellenweise macht es aber den Eindruck, als ob die Chloroplasten schon angegriffen wären. Das Ergebnis ist im Versuch mit Salzsäure im wesentlichen dasselbe. Hier waren die Blätter grün, die Ränder olivbraun gefärbt, was wiederum von einer entsprechenden Verfärbung der Palisadenzellen herrührt. Die Chloroplasten sind noch vollkommen erhalten.

Oben habe ich bereits erwähnt, daß ich in einem Bestande der Probstey beschädigte Buchenblätter gefunden habe, welche nicht die rotbraune Verfärbung aufwiesen, sondern einen anderen Farbenton besaßen, etwa wie die Blätter des eben erwähnten Salzsäureversuches. Ich nahm an, daß es sich hier auch um eine Säurebeschädigung handelte. Die Chloroplasten sind erhalten; zwischen ihnen ist ein schwach bräunlicher Farbstoff vorhanden, der den betreffenden Stellen ihre Farbe verleiht. Möglicherweise hat hier auch ein schnelles Absterben stattgefunden.

Zur weiteren Entscheidung, ob etwa der Zellinhalt erhalten bleibt, wenn das Absterben schnell vor sich geht, wurden die Blätter einer anderen Buche untersucht, welche im Freien zu Säureexperimenten benutzt werden sollte, deren Blätter aber durch zu hohe Erwärmung unter der Glasglocke rotbraun und getötet worden waren. Die rotbraune Färbung rührt von dem Auftreten des rotbraunen Farbstoffes in den Mesophyllzellen her, während er in den Epidermiszellen ausbleibt. Die Chloroplasten sind stellenweise gut erhalten, meistens freilich erscheinen sie mit einander oder mit dem Plasma verschmolzen, haben also bereits Veränderungen erfahren. Da das Absterben zur Zeit der Assimilation erfolgte, so führen die Zellen des Assimilationsgewebes in den Flecken Stärke, während die in den unverletzten Teilen des Blattes mit gelegentlichen Ausnahmen im Schwammparenchym frei davon sind, weil die Assimilate aus diesen Teilen abgeleitet werden konnten.

Ob in allen Fällen, wo die Beschädigungen ohne Auftreten der rotbraunen Färbung erscheinen, selbst wenn zwischen ihrem Erscheinen und

der Einwirkung der Säure ein langer Zeitraum liegt, der Inhalt der Zellen gut erhalten ist, habe ich versäumt festzustellen. Es könnte doch sein, daß die Vorgänge im Innern der Zellen so fundamental verschieden verlaufen, wenn das Sonnenlicht mitwirkt oder ausgeschlossen ist, daß in dem einen Falle der Inhalt stets unversehrt bleibt, während er im anderen Falle Veränderungen erleidet, ehe der Tod der Zelle erfolgt.

Außer diesem Versuchsmaterial habe ich einige Vorkommnisse aus dem Rauchschadengebiet bei Stolberg untersucht. Das Ergebnis war überall das gleiche. Der Inhalt, namentlich der Palisadenzellen, erscheint als eine mehr oder weniger homogene Masse, bald weniger, bald intensiver braun gefärbt. Ihr sind die Chloroplasten eingebettet, welche meistens sehr undeutlich hervortreten. Zuweilen gelingt es, sie durch Einwirkung von Kalilauge sichtbar zu machen. Am besten sind sie noch, wenn sie stärkeführend sind, durch Jodjodkalium sichtbar zu machen. Einige Fälle mögen näher besprochen werden.

1. Im Eschweilerer Walde steht unter dem Schlagholz in einiger Entfernung von der Hütte Birkengang eine Buche. Dieser Buche wurde am 8. August 1903 ein Zweig entnommen. Seine Blätter waren grün, aber sie hatten namentlich am Rande eine große Menge rotbrauner Beschädigungen, welche verschieden tief in die Interkostalfelder hineingreifen. Außerdem befanden sich auf den Interkostalfeldern auf der Ober- und Unterseite der Blätter kleine braune Flecken. Die beschädigten Randpartien sind vielfach vielleicht infolge der Windwirkung eingerissen. An den kleinen Flecken sind nur die oben schon für ein anderes Exemplar beschriebenen rotbraunen Gerbstoffkugeln in den Epidermiszellen vorhanden; das übrige Gewebe ist normal erhalten. An den rotbraunen Randpartien ist die Epidermis etwas zusammengefallen. Die Palisadenzellen sind in ihrem oberen Teil dunkelbraun gefärbt, das Schwammparenchym hingegen ist nur wenig gefärbt. Die Chloroplasten sind meistens erhalten, enthalten aber keine Stärke.

2. Grüne Buchenblätter mit rotbraunen Rändern aus der kleinen Probstey (26 auf Abb. 1 S. 19). Die Färbung des Randes ist ziemlich gleichmäßig rotbraun; er setzt sich im allgemeinen mit scharfem dunkelbraunem Rande von dem grünen Teil des Blattes ab, während die weiter nach außen liegenden Partien des Randes wieder heller gefärbt sind. An einzelnen Stellen schaltet sich zwischen dem grünen Blatteil und dem rotbraunen Rand eine zarte Übergangszone ein, welche heller braun gefärbt ist. Ganz schwache bräunliche Färbungen treten auch in den grünen Partien auf Ober- und Unterseite des Blattes auf. Im beschädigten Teile sind die Epidermiszellen etwas kollabiert und haben braunen Inhalt. Die Palisadenzellen führen meist einen homogenen bräunlichen Inhalt, welcher im

oberen Teil stärker gefärbt ist. Von Chloroplasten sieht man nur wenig, doch werden sie an einzelnen Stellen auf Zusatz von Jodjodkalium durch ihren Stärkegehalt sichtbar.

3. Am 1. September 1896 wurde dem Probsteywalde aus 40c an der Fuchsheckschneise von einer randständigen Buche ein Zweig entnommen. Die Färbung der Blätter war schon sehr herbstlich; es herrschte ein bräunlicher Ton vor. Hier und da treten rotbraune Flecken (Korrosionen) auf; außerdem finden sich braune Flecken auf Ober- und Unterseite, welche dem Blatte den bräunlichen Ton verleihen. Die Schwammparenchymzellen sind meistens verfärbt und haben einen gelben bis gelbbraunen Ton angenommen; an den Stellen, wo die Veränderung sehr bedeutend ist, sind auch die Palisadenzellen in Mitleidenschaft gezogen, indem im oberen Teile derselben eine Färbung auftritt. Die Epidermiszellen sind an diesen Stellen mit rotbraun gefärbten Inhaltsstoffen erfüllt. Auch in den hier auftretenden Gefäßbündeln sind gelb- bis rotbraune Verfärbungen resp. Verstopfungen von Wundgummi vorhanden. In den rotbraunen Flecken weisen die Epidermiszellen die stärkste Bräunung namentlich an der Oberseite des Blattes auf, dann folgen die Palisadenzellen, während das Schwammparenchym weniger, stellenweise überhaupt nicht gebräunt ist. Chloroplasten sind im allgemeinen im Zellinhalt nicht zu unterscheiden, nur stellenweise treten sie auf Zusatz von Jodjodkalium hervor; in einigen Zellen des Palisaden- und Schwammparenchyms enthalten sie noch Stärke.

4. Vom Rande desselben Bestandes wurden Blätter noch von einem anderen Exemplar untersucht. An den Rändern haben sie mehr oder weniger große Beschädigungen. Das übrige Gewebe ist teils herbstlich gelb, teils gelblich-grün, teils grün gefärbt. Da sich die Blätter aller Bäume an diesem Waldrande gleich verhalten, so erscheint derselbe am 1. September bereits herbstlich verfärbt.

Die Beschädigungen an einem im übrigen gelb gefärbten Blatte ließen die Gegenwart der Chloroplasten erkennen, diese sind aber in die gelb- bis rotbraun gefärbte Masse des Zellinhaltes eingebettet; in dem gesunden Teil des Blattes sind die Chloroplasten zerstört, wie es für die Herbstfärbung charakteristisch ist. Es sind gelblich gefärbte Kügelchen übrig geblieben; gelbliche Färbung zeigen auch die Tropfen in den Epidermiszellen. In einem anderen Blatte sind an den gelblichen Stellen die Chloroplasten entweder ganz verschwunden oder befinden sich in einem vorgerückten Stadium der Auflösung, in den grünen Partien des Blattes sind die Chloroplasten noch ziemlich gut erhalten und ziemlich groß.

5. Aus dem diesem Bestande westlich benachbarten Bestande 47a an der Fuchsheckschneise in der großen Probstey werden herbstlich ver-

färbte Blätter ohne Beschädigungen untersucht. Im gelben Blatte sind die Chloroplasten in normaler Auflösung begriffen. Im gelblich-grünen Blatte befinden sich die Chloroplasten gleichfalls in der Auflösung. Im Schwammparenchym kommen viele Stellen vor, wo der Inhalt der Zellen gelbbraun gefärbt ist. An diesen Stellen ist auch die Epidermis auf der Unterseite braun gefärbt, während das Palisadengewebe und die Epidermis der Oberseite nicht verändert sind. In den gelblich-braun gefärbten Blättern eines anderen Exemplars befinden sich die Chloroplasten in normaler Auflösung.

6. Beschädigte Blätter aus No. 27a in der kleinen Probstey. Auch in den äußerlich noch grünen Teilen des Blattes sind die Palisadenzellen schon etwas gelbbraun gefärbt. Die Epidermiszellen führen meistens bräunlichen Inhalt, welcher an den stark beschädigten Stellen dunkelbraun gefärbt ist. Hier findet sich in manchen Palisadenzellen ein ziemlich homogener brauner Inhalt, welcher im oberen Teil der Zelle dunkler gefärbt ist. In solchen Zellen lassen sich keine Chloroplasten mehr unterscheiden. In etwas weniger beschädigten Zellen gelingt es, bei Anwendung von Jodjodkalium, direkt oder nach Vorbehandlung mit Kalilauge Chloroplasten anschaulich zu machen. Ein Teil dieser Chloroplasten ist schwach stärkeführend.

7. Blätter mit gelbbrauner Färbung und Beschädigungen von der eisernen Brückschneise am Waldessaum in der großen Probstey. An den beschädigten Stellen sind die Chloroplasten größtenteils erhalten; stellenweise besteht der Inhalt der Zellen jedoch nur aus unregelmäßig geformten Massen, in denen auf keine Weise die Chloroplasten kenntlich zu machen sind. In den unverletzten Partien der Blätter befinden sich die Chloroplasten in herbstlicher Auflösung.

Die den beräucherten Waldungen entnommenen Blätter verhalten sich hinsichtlich der Beschädigungen sehr übereinstimmend. Die hauptsächlichsten Veränderungen erleiden immer die Palisadenzellen, doch pflegen die Veränderungen in dem Schwammparenchym gleicher Natur zu sein. Vollständig inhaltsleer erweisen sich die Zellen fast nie. Vielfach ist der gesamte Inhalt zu einer undefinierbaren homogenen Masse umgewandelt; es dürften dann auch die Chloroplasten aufgelöst und in diesen Massen verschwunden sein. In anderen Fällen treten die Chloroplasten zwar noch aus dem Inhalt hervor, aber sie sind verschwommener geworden; es bedarf besonderer Hilfsmittel, um ihre Gegenwart zu erkennen. Wo die Beschädigung am geringsten ist, sind auch die Chloroplasten noch gut erhalten. Vielfach wird in ihnen noch Stärke gefunden, was einen Schluß auf die Zeit der Schädigung zuläßt. Da ähnliche Erscheinungen, wie sie für das Verhalten der Chloroplasten soeben geschildert wurden, auch an den

durch zu hohe Wärme unter einer Glasglocke im Freien getöteten Blättern beobachtet wurden, so können sie nicht als spezifische Reaktionen auf Säurewirkung angesehen werden. Immerhin wäre es möglich, daß sie doch zur Erkennung von Rauchbeschädigungen verwendet werden könnten, wenn die sonst im Freien an den Buchenblättern auftretenden Beschädigungen einen anderen Charakter haben. Weitere Untersuchungen über diesen Punkt sind wünschenswert.

Vielleicht läßt sich das Auftreten gelber oder rotbrauner Kugeln oder Klumpen in den Epidermiszellen als eine Reaktion auf Säure auffassen. In den verbrannten Blättern sind diese Gebilde nicht aufgetreten. Ebenso scheinen sie normalerweise an den Buchen auszubleiben, während sie an unter Rauchwirkung stehenden Exemplaren auch dann an den Blättern auftreten, wenn sie keine direkten Beschädigungen aufweisen. Das trifft nicht nur für das Stolberger Rauchschadengebiet zu, sondern konnte auch an Buchenblättern aus dem Barmer Rauchschadengebiet vom 7. September beobachtet werden. Ihre bräunliche Färbung rührt von derartig gefärbten Inhaltsmassen der Epidermis her, welche gelegentlich von einer in gruppenweise zusammenliegenden Zellen auftretenden Braunfärbung unterstützt werden kann. Trotz der braunen Färbung ist der Inhalt normal erhalten; die Zellen sind beim Abpflücken der Blätter gewiß gesund gewesen. Diese gelben bis rotbraunen Inhaltsmassen der Epidermiszellen beschädigter Blätter stellen sich auch als Derivate von Gerbstoff dar. Die kugeligen Massen scheinen mehr bei schwächeren Beschädigungen aufzutreten. Vielleicht handelt es sich hier um Ausscheidungen aus dem Zellsaft durch Einwirkung verdünnter Säure, welche ein Analogon in den durch basische Substanzen in den Zellen anderer Pflanzen hervorgerufenen Gerbstoffkoagulationen haben[1]).

2. Eiche.

Auch für die Eiche standen mir einige Laboratoriumsversuche zur Verfügung. Eichenzweige waren Anfang September teils mit schwefliger Säure, teils mit Salzsäure beräuchert und zwar in verhältnismäßig kurzer Zeit durch dieselben getötet worden.

In dem Versuch mit schwefliger Säure waren zahlreiche kleinere oder größere Flecken, welche heller grün gefärbt waren, als der eigentliche

---

[1]) John af Klercker, Studien über die Gerbstoffvakuolen. Bihang till. K. Svenska Vet. Akad. Handlingar. Bd. 13. Afd. III, No. 8. Stockholm 1888. — Klemm, Beitrag zur Erforschung der Aggregationsvorgänge in lebenden Pflanzenzellen. Flora 1892, Heft 3. — Klemm, Über die Aggregationsvorgänge in Crassulaceenzellen. Ber. d. d. bot. Ges. 1892. Bd. X. — Klemm, Aggregationsstudien. Bot. C., Bd. LVII, 1894.

Farbenton des Blattes, aufgetreten. Der Fleck war von der gesunden Blattmasse durch eine feine bräunliche Grenzlinie scharf geschieden. Diese bräunliche Färbung muß natürlich durch Auftreten eines entsprechenden Farbstoffes hervorgerufen werden, doch trat er auf den Querschnitten nicht deutlich genug hervor, als daß mit Sicherheit festgestellt werden konnte, in welchen Geweben er vorhanden war. Der hellgrüne Farbenton der Flecken rührt von einer schwachen Verfärbung des Chlorophylls her. Die Chloroplasten sind meist noch vorhanden, aber zum Teil verquollen oder sogar miteinander verschmolzen.

Die in dem Salzsäureversuch auftretenden äußerlichen Veränderungen sehen etwas anders aus als in dem Versuch mit schwefliger Säure. Die Hauptblattmasse ist von grüner Farbe, nur der Rand sieht fahl grüngelb aus, eine scharfe Grenze wie bei der Wirkung der schwefligen Säure zwischen beschädigtem und unbeschädigtem Teil des Blattes ist nicht vorhanden. Ob damit ein durchgreifender Unterschied zwischen einer Beschädigung durch Salzsäure und durch schweflige Säure gegeben ist, vermag ich nicht mit Sicherheit zu behaupten. Die veränderte Färbung der beschädigten Teile wird durch eine leichte Gelbbraunfärbung des Zellinhalts, namentlich der Palisadenzellen hervorgerufen. Die Chloroplasten sind nicht mehr ganz normal, vielfach überhaupt zerstört.

Die beiden vorstehend beschriebenen Versuche ließen noch ein ungleiches Verhalten in einem weiteren Punkte erkennen. Bei den mit schwefliger Säure beräucherten Blättern ist das Gewebe in den beschädigten Stellen brüchiger geworden; auch färben sich die Membranen der Palisadenzellen hier mit Methylenblaulösung grün, während in dem Salzsäureversuch die Erscheinungen ausblieben. Wahrscheinlich ist der Unterschied darin zu suchen, daß in dem Versuch mit schwefliger Säure eine geringere Konzentration längere Zeit (14 Stunden) einwirkte, während der Salzsäureversuch 7 Stunden dauerte.

Beschädigungen von ähnlichem Aussehen, wie sie in den beiden Versuchen mit Salzsäure und schwefliger Säure erhalten wurden, fanden sich im Freien an einer Eiche im Atscher Walde hinter der chemischen Fabrik Rhenania am 28. Mai 1897 (siehe Abb. 1 S. 19). Diese Beschädigungen wurden als Frostbeschädigungen angesehen. Die Blätter sind von fahlgrünlicher, nach dem Rande zu gelbbräunlicher Farbe. Ob es sich hier wirklich um eine Frostbeschädigung und nicht auch um eine Säurebeschädigung handelte, vermag ich nicht zu sagen. Jedenfalls glaube ich aus der Färbung der Blätter annehmen zu dürfen, daß, welches auch die Todesursache gewesen sein mag, das Absterben der Zellen nachts oder bei trübem Wetter vor sich gegangen ist. Die Chloroplasten sind bis auf körnchenartige Überreste in den Palisadenzellen verschwunden; die Wandungen der Zellen sind brüchig

geworden. An weniger beschädigten Stellen findet man im Schwammparenchym noch Chloroplasten, in den entsprechenden Palisadenzellen Inhaltsmassen von unbestimmter Form, in denen Chloroplasten nicht mehr zu erkennen sind.

Das Material, das ich sonst noch untersucht habe, entstammte dem Freien, dem Eschweilerer Walde, der kleinen und großen Probstey und war dadurch ausgezeichnet, daß es die charakteristischen rotbraunen Flecken trug. Zum Teil waren es herbstlich verfärbte Blätter aus dem Anfang Oktober, zum Teil waren sie im August gepflückt worden. Letztere stammten aus dem Eschweilerer Walde von niederen Eichen in der Nähe der Hütte Birkengang. Hier kann mit Sicherheit angenommen werden, daß es sich um eine Wirkung der schwefligen Säure handelt, denn erstlich kommt wohl bei einer Zinkhütte keine andere Säure in Frage, zweitens läßt sich aber in Blättern, welche diesem Standort entnommen wurden, schweflige Säure durch die Destillationsmethode in verhältnismäßig großer Menge nachweisen. Die beschädigten Stellen sind rotbraun; sie treten zum Teil am Rande auf und greifen von hier aus auf die Interkostalfelder über. Neben diesen, unabhängig von ihnen, treten Flecken auf den Interkostalfeldern auf. Außer den größeren mit bloßem Auge sichtbaren Flecken treten zahlreiche ganz kleine auf, welche man erst mit der Lupe wahrnimmt. Das Maß der Beschädigung ist bei den einzelnen Blättern verschieden groß, ist aber bei allen bedeutend. Bei manchen Blättern ist fast die ganze Blattmasse zerstört, bei anderen kleinere oder größere Stücke. Der unversehrte Teil des Blattes ist gelbgrün gefärbt, im übrigen vollständig normal. Die Färbung der rotbraunen Flecken rührt hier wie überall vorwiegend von dem in den Palisadenzellen vorhandenen Farbstoff her. Seltener findet sich hier und da in den Epidermiszellen ein bräunlicher Inhalt. Mit Methylenblaulösung färben sich die Wände der Palisadenzellen an den beschädigten Stellen grün. In den Palisaden mit braunem Inhalt sind Chloroplasten mit Sicherheit nicht zu erkennen. Auf Zusatz von Jodjodkalium werden kleine blauschwarze Körnchen sichtbar, welche die Lage der undeutlich gewordenen Chloroplasten anzeigen.

Aus der großen Probstey wurden am 2. Oktober 1896 aus 47 und 40 stark beschädigte Blätter entnommen. Das aus 47 stammende Blatt ist in der Umgebung des Hauptnerven noch grün, im übrigen rotbraun gefärbt. In dem grünen Teile sind die Chloroplasten namentlich in den Palisaden auch schon in der Auflösung begriffen, in dem beschädigten Teil erkennt man nur Überreste von Chloroplasten. Die braune Farbe, welche hauptsächlich in den Epidermiszellen der Oberseite und in den Palisadenzellen auftritt, erstreckt sich auch auf das Schwammparenchym. Die Membranen des Mesophylls färben sich mit Methylenblau grünlich; das Gewebe ist bröckelig.

In den rotbraunen Flecken des Blattes aus 40 sind in dem Mesophyll nur die Chloroplasten bis auf Reste verschwunden. In dem Gefäße sind gelbliche Massen von Wundgummi vorhanden. Die Membranen der beschädigten Zellen verhalten sich gegen Methylenblau wie in dem Blatt aus 47.

In einem herbstlich verfärbten Blatt mit Beschädigungen von der Lisiere der kleinen Probstey ist das Gewebe herbstlich entleert; nur hier und da sind noch Reste von Chloroplasten und im Schwammparenchym auch ein wenig Stärke zurückgeblieben; in den beschädigten Stellen hingegen wechseln Partien mit rotbraunem Inhalt mit chloroplastenführenden Partien, in denen noch Stärke nachweisbar ist. In manchen Gefäßen sind gelbe Wundgummimassen vorhanden.

Aus 27 an der Schneise nach 26 in der kleinen Probstey ist ein am Rande stark beschädigtes Blatt entnommen worden. Die Beschädigungen sind rotbraun, die unverletzten Teile oliv gefärbt. In den beschädigten Stellen enthält die Epidermis der Oberseite, seltener auch die der Unterseite braune Inhaltsmassen, welche der Außenwand anliegen. Von Chloroplasten sieht man in dem Mesophyll nur Reste, welche auf Zusatz von Jodjodkalium etwas deutlicher hervortreten. In den unverletzten grünen Teilen des Blattes sind die Chloroplasten fast völlig erhalten; im Schwammparenchym sind sie noch normal, während die Palisadenzellen schon stellenweise gebräunt sind. An diesen Stellen sind die Chloroplasten etwas deformiert, bisweilen auch miteinander verschmolzen. In den Epidermiszellen der Oberseite ist vielfach bräunlicher Inhalt vorhanden. Aus der Mischung des grünen Farbstoffes der Chloroplasten und des bräunlichen in Epidermis- und Palisadenzellen geht der olivfarbene Ton des Blattes hervor.

In allen diesen dem Freien entnommenen Proben ist das Verhalten der Beschädigungen sehr übereinstimmend. Unterschiede treten in der Verbreitung des rotbraunen Farbstoffes und in dem Verhalten der Chloroplasten auf. Bald sind diese ganz verschwunden, bald nur in geringen Überresten vorhanden; oder aber es sind mehr oder weniger große Teile der Chloroplasten vorhanden, während das normale Gewebe vollständig herbstlich entleert ist.

Ein etwas abweichendes Verhalten zeigt der folgende Fall. Oben in der kleinen Probstey in der Nähe der Grenzschneise werden am 26. Juli 1897 Blätter mit starken Korrosionen entnommen. Die Farbe der Blätter ist normal grün. Es sind zahlreiche gelbe Beschädigungen vorhanden und zwar treten sie in Form größerer oder kleinerer Flecken, welche sich mit einer rotbraunen Linie scharf gegen den grünen Grund abheben, in den Interkostalfeldern auf. Daneben sind zahlreiche kleine rotbraune Flecken vorhanden.

Das gesunde Gewebe ist von dem beschädigten durch eine Wundkorkschicht getrennt. Die rotbraune Grenzlinie kommt dadurch zustande, daß an der Grenze von beschädigtem und gesundem Gewebe immer ein oder mehrere Epidermiszellen mit dunkelbraunem Inhalt erfüllt sind. In den Flecken ist die Epidermis meist inhaltsleer, und die Palisadenzellen stellenweise leer, stellenweise mit verschrumpftem Inhalt erfüllt, welcher sich mit Jodjodkalium braun färbt, ohne daß die Chloroplasten hervortreten. Das Schwammparenchym verhält sich meistens wie das Palisadengewebe. Die beschädigten Blatteile sind von zahlreichen Pilzhyphen durchsetzt. Hier kann es zweifelhaft sein, welches die Ursache der Beschädigungen ist. Ich möchte annehmen, daß es die Säure gewesen ist, welche rotbraune Beschädigungen hervorgerufen hat, und daß die abgestorbene Blattpartie alsdann von Pilzen besiedelt worden ist. Sie haben vermutlich den Farbstoff teilweise zerstört und die Inhaltsstoffe der Zellen aufgezehrt, woher die gelbliche Färbung der Flecken rührt. Mit dem Auftreten der Pilze möchte ich auch den Wundkork in Verbindung bringen, denn bei reinen Säurebeschädigungen habe ich denselben nie beobachtet.

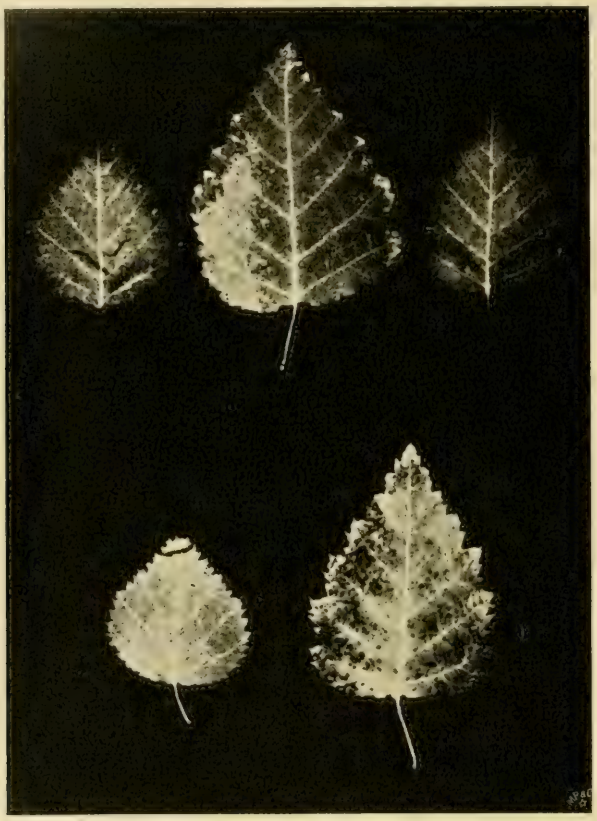
Viel verbreiteter ist, wie aus der vorstehenden Darstellung ersichtlich ist, das Auftreten von Wundgummi in den Gefäßen der Blätter an den beschädigten Stellen oder in ihrer Nähe. Hier dürfte wohl das Absterben von Geweben als Reiz für das Auftreten der gummösen Verstopfungen wirken.

3. Birke.

Mehrfach habe ich Versuche im Räucherhause mit der Birke ausgeführt und zwar mit Exemplaren der Unterart von Betula alba B. pubescens nach Dippel. Einer stark beschädigten Birke aus dem Räucherhause wurde am 4. September 1903 ein Zweig entnommen. Die Blätter waren grün und hatten braune Flecken. Abbildung 2a führt uns die Blätter dieses Zweiges vor. Die hellen Stellen auf denselben hat man sich braun zu denken, die dunklen grün. Je dunkler die Stellen sind, um so freier von Beschädigung sind sie, je heller, um so stärker ist die Beschädigung. In den grünen Partien sind fast normale Verhältnisse vorhanden, nur das Schwammparenchym ist stellenweise etwas kollabiert und der Inhalt der Epidermiszellen auf der Blattunterseite leicht gebräunt. In dem beschädigten Blatteile ist stellenweise noch etwas wie Chloroplasten zu sehen. Übrigens verhalten sich in einem Fleck nicht alle Zellen gleich. In manchen Gruppen von Palisadenzellen sind keine Chloroplasten, sondern nur deformierter Inhalt vorhanden. Die Wände dieser Zellen färben sich mit Methylenblau grün. In die verschleimten Membranverdickungen der Epidermisaußenwände sind in den braunen Partien des Blattes immer, in den

noch grünen stellenweise bräunliche Massen eingebettet, welche auch Gerbstoffnatur haben.

Die einem anderen Versuch entnommenen Blätter haben kleine braune Flecken, welche transparent geworden sind. Die punktförmigen Flecken auf dem größeren der beiden Blätter (siehe Abb. 2b) sind diese trans-



a

b

Abb. 2. a. Stark beschädigte Birke aus dem Räucherhause vom 4. September 1903. Je heller die Blattpartien, um so stärker sind sie beschädigt. $^1/_1$.
b. Rauchbeschädigte Birke aus dem Räucherhause. Ein anderes Exemplar als bei a. Blätter mit dunklen transparenten Flecken versehen, welche in dem Blatte rechts als dunkle Punkte hervortreten. $^1/_1$ nat. Gr.

parenten braunen Flecken. Daneben kommt auch eine nicht transparente Bräunung vor, welcher die hellen Flecken in den beiden Blättern unserer Abbildung entsprechen. In den transparenten braunen Flecken sind die Zellen so stark zusammengesunken und schließen lückenlos aneinander, daß alle luftführenden Intercellularen verschwunden sind. Es ist schwer,

wenn nicht unmöglich, die Umrisse der einzelnen Zellen zu erkennen. Ihr Inhalt ist verquollen, so daß sich auch nicht unterscheiden läßt, ob Chloroplasten vorhanden sind. Die braune Färbung rührt von braunen Inhaltsmassen in den Epidermiszellen der Unterseite, den Palisaden- und den Schwammparenchymzellen her.

Es scheint also auch bei der Birke auf den Grad der Beschädigung anzukommen, wie viel von den Inhaltsstoffen der Zellen erhalten bleibt.

Aus dem Freien habe ich ein einziges Beispiel untersucht, und zwar von der Unterart B. odorata. Der Zweig stammte aus dem Atscher Walde unmittelbar hinter der Chemischen Fabrik Rhenania und war am 28. Mai 1899 gepflückt worden. Wenn nun auch zu den Versuchen eine andere Unterart Verwendung gefunden hat, so glaube ich doch, daß die Ergebnisse an den beiden verschiedenen Unterarten miteinander verglichen werden können, da sie sich sehr nahe stehen. Die Blätter sind zum Teil noch grün, zum größeren Teil braun.

Die Epidermis ist auf der Oberseite in dem gebräunten Teil gut erhalten, auf der Unterseite auch in dem noch grünen Teil stark kollabiert. Nur die die Nerven bekleidenden Epidermiszellen sind normal erhalten, da sie kleiner und dickwandiger sind.

Die Chloroplasten sind fast überall leidlich erhalten und treten auf Zusatz von Jod ziemlich deutlich hervor. In dem weniger beschädigten Teil des Blattes ist der grüne Zellinhalt stellenweise auch schon etwas verschwommen, doch sind dann im Schwammparenchym die Chloroplasten meistens noch als große grüne Scheiben erhalten.

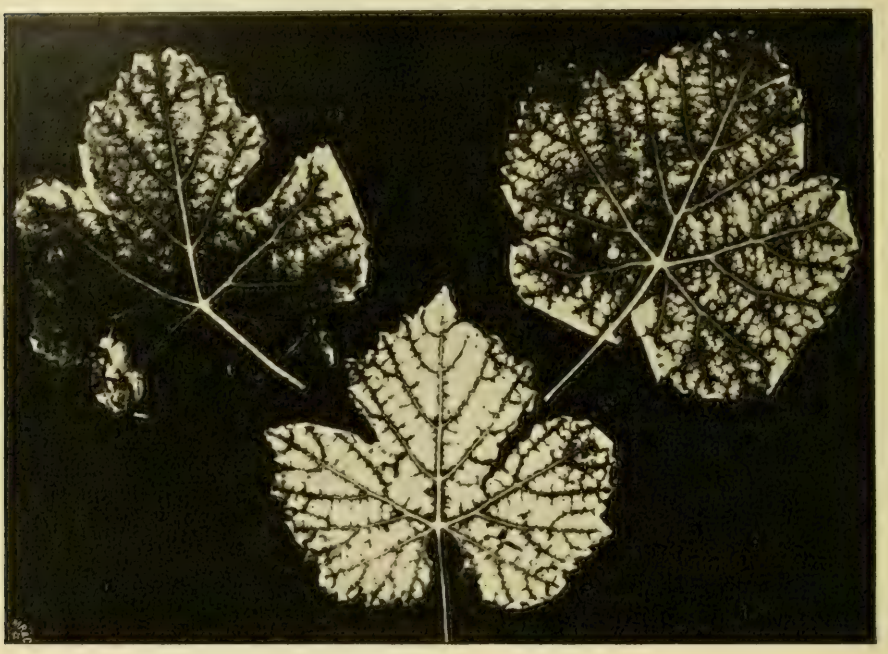
Der Sitz der Bräunung sind fast ausschließlich die Palisadenzellen.

Um festzustellen, ob die Veränderungen, welche die Membranen in den beschädigten Stellen erleiden, nicht normalerweise im Herbste auftreten, habe ich im Herbste abgefallene Blätter untersucht. Diese hatten ihre normale Elastizität bewahrt, und die Membranen des Mesophylls färbten sich nicht mit Methylenblau grün.

4. Weinstock.

Bei den Versuchen über die Erzeugung der chronischen Rauchbeschädigungen wurden mehrere Varietäten gebraucht. Bei der einen trat als Reaktion auf die Säurewirkung ein roter Farbstoff auf, der an die lebendige Zelle gebunden ist. Unsere Abbildung 3 (S. 98) führt uns drei Blätter dieser Varietät vor und veranschaulicht die Verteilung des Farbstoffes auf der Blattfläche. Da der Farbstoff das Licht zurückhält, erscheinen auf dem photographischen Papier diejenigen Stellen hell oder gar weiß, wo im Blatt der Farbstoff vorhanden ist. Die Abbildung ist ebenso wie die der Birkenblätter dadurch gewonnen, daß die Blätter im

Kopierrahmen, dem photographischen Papier fest angedrückt, dem Licht exponiert worden waren. Der dunkelste Farbenton veranschaulicht eine Partie, in welcher kein roter Farbstoff aufgetreten ist, je heller die Flecken oder gar die ganze Blattfläche werden, um so reicher an Farbstoff ist das Blatt. Bei dem Blatte a ist der Farbstoff demnach auf den mittleren und rechten Lappen beschränkt und selbst hier nicht in großer Mächtigkeit



a *b* *c*

Abb. 3. Weinstock. 3 Blätter eines Exemplars, in denen unter Einwirkung von schwefliger Säure ein roter Farbstoff aufgetreten ist. Je heller die Blätter oder Blattpartien auf der Abbildung sind, um so reicher sind sie an Farbstoff. $^2/_3$ nat. Gr.

vorhanden. Beim Blatt b ist die Verteilung des Farbstoffes schon gleichmäßiger, der Gehalt auch bedeutender und bei dem Blatt c ist die Fläche nahezu gleichmäßig und zwar intensiv rot gefärbt.

Dieser rote Farbstoff tritt in erster Linie in den Palisadenzellen und zwar besonders im oberen Ende auf; wo die Färbung sehr intensiv ist, findet er sich außerdem in den Zellen der oberen Epidermis. Der Farbstoff, welcher chemisch nicht näher untersucht werden konnte, dürfte ein Gerbstoffderivat und vielleicht mit Anthocyan, wie es in den Blättern des wilden Weins auftritt, identisch sein. Durch Wasser, durch verdünntes

Ammoniak und durch Alkohol verschwindet er; in den getrockneten Blättern hält er sich sehr schön, so daß unsere Abbildung nach getrockneten Blättern hergestellt werden konnte. Will man sein Vorkommen und seine Verbreitung an getrockneten Blättern untersuchen, so empfiehlt es sich, die Schnitte in Nelkenöl zu legen, das den Farbstoff nicht löst. Er ist im Zellsaft gelöst und verdeckt nur den Chlorophyllfarbstoff. In den verfärbten Blättern ist überall der grüne Farbstoff erhalten.

Wenn bei Einwirkung schwacher Konzentrationen der schwefligen Säure dieser rote Farbstoff auftritt, so schließt das natürlich nicht aus, daß bei höheren Konzentrationen auch gelegentlich Gewebepartien absterben. Diese färben sich dann wie die Blätter anderer Laubhölzer, da die Versuche im Lichte ausgeführt wurden, rotbraun, aber der rotbraune Farbstoff wird durch den roten verdeckt, während er bei der anderen Varietät, der die Fähigkeit, den roten Farbstoff zu bilden, mangelt, in derselben Weise in die Erscheinung tritt wie bei anderen Laubhölzern. Bei der gefärbten Varietät läßt sich der rotbraune Farbstoff auf mikroskopischen Schnitten erkennen, würde sich natürlich auch an den ganzen Blättern nachweisen lassen, wenn man sie etwa mit Alkohol des roten und grünen Farbstoffes berauben würde.

Hinsichtlich dieser mit Absterben der Zellen und Braunfärbung verbundenen Beschädigungen verhalten sich die beiden zu den Versuchen benutzten Varietäten gleich. Das Gewebe ist sehr brüchig geworden und läßt sich infolgedessen sehr schlecht schneiden; auch hat die Dicke des Blattes abgenommen, was auf eine Schrumpfung der Gewebe zurückzuführen ist. Die Epidermis ist stark kollabiert. Meistenteils lassen sich die geschrumpften Gewebe durch verdünntes Ammoniak wieder in die natürlichen Formen bringen. Sollte das nicht ausreichen, so kann man Kalilauge oder Eau de Javelle anwenden. Mit letzterem Reagens wird man in den meisten Fällen seinen Zweck erreichen. Da es obendrein den rotbraunen Farbstoff löst oder zerstört, ist selten ein Unterschied zwischen den normalen und den mit der Lauge behandelten Gewebeteilen zu sehen, wenigstens was die Form der Zellen anbelangt; denn ihr Inhalt wird natürlich erheblich verändert. Die Wände der Palisadenzellen aus den beschädigten Teilen nehmen Methylenblau mit grüner Farbe auf. Der rotbraune Farbstoff findet sich hauptsächlich in den Palisadenzellen und im Schwammparenchym, vorwiegend im oberen Teile der ersteren. Gelegentlich kommt es auch vor, daß das Schwammparenchym mehr als die Palisadenzellen gelitten hat. Bei schwächerer Beschädigung kann in den Zellen wohl auch ein gelbbrauner statt rotbrauner Ton auftreten. Bei dem einen Exemplar der nicht roten Farbstoff bildenden Varietät traten schwache Beschädigungen in Form kleiner brauner Flecken auf. Ihre Epidermis-

und Palisadenzellen enthielten gelbliche lichtbrechende Massen; zuweilen sind diese auch in dem angrenzenden Schwammparenchym vorhanden.

Von den Inhaltsstoffen zeigen die Chloroplasten in den Palisadenzellen ein sehr eigentümliches Verhalten. In vielen Zellen, nicht in allen, haben sie ungewöhnliche Größe angenommen, so daß der mit dem rotbraunen Farbstoff erfüllte Zellraum sehr verengert erscheint. Ob die Chloroplasten hier gequollen sind, oder ob sie durch fortgesetzte Bildung von Stärke bei unterbliebener Ableitung derselben diese Dimensionen angenommen haben, ist nicht zu entscheiden. Jedenfalls erweisen sie sich mit Hülfe des Jodreagens als mit Stärke erfüllt, während das unbeschädigte Gewebe frei davon ist. Auch in weniger beschädigten Stellen sind der Gehalt an Stärke und die Dimensionen der Chloroplasten geringer.

Bei Tötung der Blätter eines Freilandexemplares durch Chloroform, wobei die Tötung also schnell erfolgte und zwar unter Ausschluß des Sonnenlichtes, blieb auch die rotbraune Färbung aus. Die Blätter waren grün mit einem schwachen Stich ins Braune gefärbt. Der Inhalt der Zellen war etwas verschwommen, die Chloroplasten aber deutlich erhalten und von normaler Größe. Die Membranen der Palisadenzellen färbten sich mit Methylenblaulösung nicht grün.

Das abweichende Verhalten der durch Chloroform und der durch schweflige Säure getöteten Blätter dürfte wohl zunächst auf die Einwirkungsdauer der betreffenden Agentien zurückzuführen sein.

II. Beeinflussung der Assimilation durch die schweflige Säure.

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt angedeutet wurde, sind die akuten Beschädigungen verhältnismäßig selten, fehlen häufig auch ganz, wo im übrigen beträchtliche Rauchbeschädigungen zu verzeichnen sind, erstrecken sich aber selbst im günstigsten Falle in einigermaßen bedeutendem Umfange nur auf eine geringe Entfernung von der Rauchquelle. So wenigstens liegen die Verhältnisse dort, wo die Waldungen unter regelmäßiger Beräucherung stehen. Durch Betriebsstörungen etwa in chemischen Fabriken oder Hütten, wobei vorübergehend größere Säuremengen in die Luft gelangen, können die akuten Beschädigungen, falls zufällig ein geeigneter Wind weht, auch in größerer Entfernung von der Rauchquelle auftreten. Diese Fälle sind aber verhältnismäßig selten. Die Zerstörung der Wälder, welche unter einer konstanten Beräucherung stehen, kann, weil eben Blattbeschädigungen im größeren Maße fehlen, nicht in Zusammenhang mit der Vernichtung der Blattsubstanz gebracht werden. Dem Absterben der Bäume geht ja immer ein jahrelanges Siechtum voraus, das mit einer zunehmenden Verminderung des Dickenwachstums verbunden ist. Diese Verminderung muß in Abhängigkeit von der assimilatorischen Leistung

des Baumes stehen. Werden die Blätter zerstört oder zum größeren Teile vernichtet, so ist der Assimilationsausfall bedeutend genug, um die Verminderung des Dickenwachstums und schließlich den Tod des Baumes herbeizuführen. Dieser Fall ist aber im allgemeinen in den Rauchschadengebieten nicht verwirklicht. Da also zunächst auf eine erhebliche Verminderung der Blattorgane der Assimilationsausfall nicht zurückzuführen ist, lag es nahe zu vermuten, daß die assimilatorische Tätigkeit der Chloroplasten durch die schweflige Säure ungünstig beeinflußt werde. Diese Vorstellung, welche sich mir sehr bald bei Beobachtung des Stolberger Rauchschadengebietes aufdrängte, fand eine Stütze in gewissen Angaben in der Literatur. So fand Boussingault, daß bei phanerogamen Pflanzen in einer Atmosphäre von Wasserstoff, Sumpfgas, Stickstoff oder Kohlensäure die Assimilation anfänglich geschwächt und dann ganz eingestellt wurde, ohne daß die Pflanzen zugrunde gingen. Ewart[1]) bestätigte durch seine Untersuchungen diese Ergebnisse für Kohlensäure und Wasserstoff und wies dasselbe für die Wirkung von Äther, Antipyrin, Alkali und, wie ich aus seiner ausführlichen Arbeit[2]) ersehen habe, als meine Versuche längst im Gange waren, auch für Phosphorsäure nach. Es schien mir berechtigt, aus dem Verhalten gegen die Kohlensäure auf ein gleichsinniges Verhalten gegen die anderen gasförmigen Säuren zu schließen, wie denn auch spätere Untersuchungen[3]) diese Ansicht bestätigt haben.

Traf meine Voraussetzung zu, so mußte es möglich sein, draußen im Walde an den der Raucheinwirkung ausgesetzten Bäumen in entsprechender Entfernung von der Rauchquelle an den Tagen, wo der Wind den Rauch auf den Wald zu trieb, die Assimilationsverminderung nachzuweisen. Als einzig mögliche Untersuchungsmethode kam hier die Sachs'sche Jodprobe in Betracht. Im Sommer 1897 habe ich nach dieser Methode von Buchen und Eichen an passenden Stellen im Probsteywald bei der geeigneten Witterung Blätter auf ihren Stärkegehalt untersucht. Wiederholt ließ sich eine Verminderung des Stärkegehaltes bis zum vollständigen Ausbleiben der Reaktion auf Jod nachweisen. Aber die Ergebnisse waren zu widersprechend, als daß aus ihnen unwiderleglich die Einwirkung der Säure auf die Assimilation gefolgert werden konnte. Hätte bereits durch anderweitige Versuche diese Einwirkung festgestanden, so hätte man wohl das Ausbleiben der Jodfärbung auf eine Säurewirkung zurückgeführt. An

---

[1]) Pfeffer, Über die vorübergehende Aufhebung der Assimilationsfähigkeit in Chlorophyllkörpern. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1896, S. 311.

[2]) Ewart, On assimilatory inhibition in plants. The Journal of the Linnean Society. Botany. Vol. XXXI, 1896, S. 411.

[3]) Treboux, Einige stoffliche Einflüsse auf die Kohlensäure-Assimilation bei submersen Pflanzen. Flora, Bd. 92, 1903. S. 69.

einem und demselben Baum verhielten sich die Blätter sehr ungleich. Während einige unbedeutende Mengen Stärke gebildet hatten, traten in anderen bedeutende Mengen auf, oder an dem einen Termin war an dem betreffenden Baum ein sehr geringer Stärkegehalt der Blätter vorhanden, an einem anderen Termin ein verhältnismäßig großer. Der Stärkegehalt war bei Blättern aus verschiedener Höhe bald ein ungleicher, bald ein gleicher; im ersteren Falle trat der geringere Gehalt nicht immer dort auf, wo er mit Rücksicht auf die stärkere Einwirkung der Säure erwartet werden mußte. Benachbarte Bäume konnten sich in exponierten Lagen ganz entgegengesetzt verhalten. Auch die einzelne Blattfläche verhielt sich nicht in allen Teilen gleichartig. Bald trat durch Jod eine intensive Färbung in den Interkostalfeldern auf, während das die Rippen umgebende Gewebe ungefärbt war, bald war jenes frei von Stärke und dies gefärbt. Bald waren ganze Abschnitte gefärbt und andere ungefärbt. Bald waren noch grüne Blätter arm, gelbgrüne Blätter verhältnismäßig reich an Stärke. Kurzum die Verhältnisse im Freien erwiesen sich als außerordentlich kompliziert, sodaß es aussichtslos war, mit Sicherheit die vorausgesetzte Säurewirkung aus den Befunden an Ort und Stelle zu erweisen.

Bestimmend wurde für mich aber, einen anderen Weg zur Entscheidung der Frage einzuschlagen, die Erwägung, daß die Unregelmäßigkeiten im Auftreten der Stärke auch von einer Hemmung der Ableitung der Assimilate durch die Säure, wodurch die Assimilationsverminderung verdeckt werden würde, oder von anderen Ursachen, welche mit einer Säurewirkung nichts zu tun haben, herrühren könnten. In der Tat konnte ich auch an Orten, wo die Wirkung saurer Gase ausgeschlossen war, an der Eiche ähnliche Erscheinungen beobachten, während ich Buchen zu prüfen keine Gelegenheit hatte.

Da die Beobachtungen im Freien zu keinem Ergebnis führten, mußte man seine Zuflucht zu Experimenten nehmen. Zunächst habe ich einfach die Verhältnisse, wie man sie draußen findet, zu imitieren und das Ausbleiben oder die Verminderung der Assimilation wiederum mit Hilfe der Sachs'schen Jodprobe festzustellen gesucht.

Die Gipfel eingetopfter Buchen und Eichen wurden in kugelige Glasgefäße etwa von 7 Liter Inhalt eingeschlossen, nachdem die Blätter durch Verdunkeln entstärkt worden waren. In diese Glasgefäße, welche mittels Gummistopfen luftdicht abgeschlossen werden konnten, wurde etwas gasförmige schweflige oder Salzsäure gegeben und die Pflanze dann dem Lichte, meistens diffusem Lichte, im Freien ausgesetzt. In einem Teil der Versuche war auch noch Kohlensäure hinzugefügt worden, damit die Blätter ausreichend assimilieren konnten. Eine Entscheidung, ob die Blätter unter der Einwirkung der Salz- oder schwefligen Säure assimiliert hatten, wurde so

getroffen, daß von mehreren Blättern vor Beginn des Versuches die eine Hälfte abgeschnitten wurde. Nach Beendigung des Versuches wurde die andere Hälfte abgeschnitten und wurden beide Hälften hinsichtlich ihres Verhaltens gegen Jod verglichen. Auch hier waren die Ergebnisse nicht einwandsfrei, wenngleich auch alles darauf hindeutete, daß eine Beeinflussung der Assimilation durch die Säure stattfindet. Der Hauptübelstand ist der, daß mit der Jodprobe nicht genügend feine Abstufungen zu erzielen sind. Auch ist unbedingt eine einmalige Zugabe einer bestimmten Menge Säure nicht ausreichend, um eine genügend große Einwirkung auf alle eingeschlossenen Blätter ausüben zu können, entspricht ja auch nicht den in den Rauchschadengebieten herrschenden Verhältnissen, wo die Luft in beständiger Bewegung ist und ununterbrochen Säure in die Luft einströmt. Mit der Erkennung dieser Übelstände war aber auch der Weg gewiesen, um zum Ziele zu gelangen. Es mußte der Gaswechsel der unter Einwirkung der Säure assimilierenden Pflanzen quantitativ untersucht werden und mit dem der unter normalen Umständen assimilierenden verglichen werden.

Vordem ich jedoch an die Ausführung solcher Versuche, die umfangreich und langwierig zu werden versprachen, herantrat, veranlaßte ich Herrn Dr. Hartleb, nach der Gasblasenzählmethode festzustellen, ob Elodea eine Assimilationsverminderung unter Einwirkung von Salzsäure und schwefliger Säure erkennen ließe. Das Ergebnis hinsichtlich der Salzsäure wurde bereits früher veröffentlicht[1]); auch für die schweflige Säure ergab sich eine Beeinträchtigung der Assimilation der Wasserpest. Da man eine einheitliche Reaktion des Plasmas der Säure gegenüber annehmen muß, so beweist das Verhalten von Elodea, daß die Säure die Assimilation beeinflußt, und das Ausbleiben der Jodreaktion in unseren Versuchen mit der Buche und Eiche ist also auch als Säurewirkung aufzufassen. In quantitativer Beziehung sind aber die Ergebnisse der Versuche mit Elodea nicht auf andere Gewächse zu übertragen, denn verschiedene Arten könnten in ungleich starkem Grade auf die Säure reagieren; auch wird den Landpflanzen die Säure als Gas geboten, wenngleich sie in ihren Blättern erst im gelösten Zustande zur Wirkung gelangt. Die Konzentration dieser Lösungen entzieht sich vollständig unserer Bestimmung; wir sind bei Landpflanzen infolgedessen immer darauf angewiesen, die Beziehung zwischen dem Gehalt der Luft an gasförmiger Säure und der Assimilation zu ermitteln. Diese Beziehung zu kennen, ist mit Rücksicht auf die praktischen Verhältnisse notwendig; denn nur, wenn die Säure in starken Verdünnungen die Assimilation beeinflußt,

[1]) Wieler und Hartleb, Über Einwirkung der Salzsäure auf die Assimilation der Pflanzen. Ber. d. d. bot. Ges. XVIII, 1900, S. 350.

kann die Assimilationsverminderung mit Erfolg zur Erklärung der Verwüstungen der beräucherten Wälder herangezogen werden. Es erwies sich also als unabweislich, den Gaswechsel der Pflanzen beim Assimilationsvorgange unter wechselnden Säurekonzentrationen kennen zu lernen.

Versuchsanstellung. Mit der Erkenntnis des anzustrebenden Zieles ergab sich das Prinzip der anzuwendenden Methode ohne weiteres. Die zu prüfenden Blattmassen mußten luftdicht in eine Glocke eingeschlossen werden, durch welche Kohlensäure und die schweflige Säure geleitet werden konnten, während die Blätter einer konstanten Lichtquelle ausgesetzt wurden. Aus der Differenz der Menge der zugegebenen und wiedergefundenen Kohlensäure unter Berücksichtigung der Atmung konnte die Assimilationsgröße ermittelt werden, welche verschieden ausfiel, ob die Pflanze mit oder ohne Säure assimilierte.

Die im Laufe des Versuchs benutzten Glasbehälter haben manchen Wandel durchgemacht. Zuerst kamen große, etwa 7 Liter fassende Glaskugeln zur Anwendung, welche auf einer Seite einen sehr weiten, am anderen Ende einen engeren Tubus besaßen. Durch jenen wurde ein Zweig oder die Krone der zu untersuchenden Pflanze hineingeschoben und mit einen Gummistopfen luftdicht eingesetzt. Der andere Tubus war mit einem mehrfach durchbohrten Gummistopfen zur Aufnahme des Zu- und Ableitungsrohres für die Gase und eines Thermometers verschlossen. Mit diesen Kugeln ist eine größere Reihe von Versuchen ausgeführt worden. Da sie aber unhandlich waren, es auch störend war, daß sie nur eine verhältnismäßig geringe Blattmenge faßten, und da befürchtet wurde, daß die Beleuchtung in der Glocke durch die stark gekrümmte Wand unzweckmäßig wäre, habe ich später teils einen Glaskasten, teils große Glocken mit abgeschliffenem Rand benutzt. In abgeschliffenen Glasplatten waren große Löcher gebohrt worden, etwa von 5—7 cm Durchmesser, durch welche die Krone des Bäumchens bequem eingeführt werden konnte. Der Stamm wurde wieder mit einem Gummistopfen luftdicht eingesetzt. Die Platte ruht auf einem tisch- oder bockartigen Gestell (siehe Abb. 4 S. 106), dessen Platte mit weitem kreisrunden Ausschnitt versehen war. Das Gestell war in vertikaler Richtung verstellbar, sodaß die zu beleuchtende Krone in eine bestimmte Stellung zu der Lichtquelle gebracht werden konnte. Der Topf der Pflanze — es kamen vorwiegend Topfpflanzen zur Anwendung — ruhte auf einem gleichfalls vertikal verschiebbaren eisernen Gestell, sodaß Pflanzen verschiedener Höhe bequem verwendet werden konnten.

Unsere Abbildung zeigt uns, daß über die Pflanze eine etwa 27 Liter fassende Glocke mit abgeschliffenem Rand und tubuliertem Hals gestülpt ist. Mittels Fett ist sie fest auf die abgeschliffene Glasplatte aufgesetzt.

Um die an den gekrümmten Wandungen stattfindende Brechung des Lichtes und damit den Lichtverlust zu vermeiden, habe ich in einigen Versuchen einen Glaskasten etwa von demselben Inhalt wie die Glocke und mit parallelen Wänden benutzt. Auch dieser Glaskasten wurde mit seinen abgeschliffenen Rändern mittels Fett auf der Glasplatte aufgesetzt. Der Glaskasten war sehr viel unbequemer zu handhaben als die Glocke, und da der Gewinn an Licht in demselben doch nicht so bedeutend war, als erwartet worden war, wurden die Versuche mit den Glocken fortgesetzt, nachdem durch einen unglücklichen Zufall der Glaskasten zerbrach und ein neuer Kasten trotz der geringen Luftverdünnung, welche beim Durchsaugen der Gase eintrat, zerdrückt wurde. Den größeren Teil der Versuche habe ich mit den Glocken ausgeführt.

Die Zuleitung und Ableitung der Gase geschah entweder von unten oder von oben, je nach der Natur der angewandten Glashülle. Beim Glaskasten mußten die Röhren durch den Stopfen geführt werden, mit welchem die Pflanze in die Glasplatte eingesetzt wurde. Bei den Kugeln und bei den großen Glocken geschah die Zuleitung meistens von oben. Der Tubus war mit einem Gummistopfen verschlosen, durch den ein Glasrohr bis auf den Grund der Glashülle, das andere bis oben durch den Stopfen reichte. Die Zuleitung der Gase geschah durch dieses, die Ableitung durch jenes. Wurden die Gase von unten zu- und abgeleitet, war das Verhältnis umgekehrt. Bei den späteren Versuchen wurde durch den Gummistopfen noch ein Manometerrohr geführt, das in Quecksilber tauchte und so in bequemer Weise zu prüfen gestattete, ob der Apparat luftdicht schloß. Bei den älteren Versuchen war es weggelassen worden, doch hatte sich die Gegenwart desselben als wünschenswert erwiesen.

Unter den großen Glocken und dem Glaskasten, welche ein größeres Volumen faßten, wurde das Thermometer an den Stamm der Pflanze gebunden, damit man möglichst genau die Temperatur des Innenraumes ermittelte. In den späteren Versuchen war noch ein Koppe'sches Haarhygrometer unter die Glocke gestellt worden, weil es sich auch als wünschenswert herausgestellt hatte, den Feuchtigkeitsgehalt der Luft bestimmen zu können.

Das luftdichte Einsetzen des Stammes der Versuchspflanze in die Glasplatte gelingt unschwer bei einiger Übung. Es wurden mehrere Zentimeter hohe große Gummistopfen von bestem Para-Kautschuk benutzt. In der Mitte wurde ein Loch gebohrt, welches annähernd dem Umfang des einzukittenden Stammes entsprach; dann wurde der Stopfen einseitig aufgeschnitten, damit er um den Stamm herumgelegt werden konnte und die Schnittfläche mit flüssigem Kautschuk, wie er für die Reparaturen der Gummireifen der Fahrräder Verwendung findet, wieder verklebt. Der Stopfen selbst war natürlich ohne Schwierigkeit in der Glasplatte durch

Eindrücken zum festen Schluß zu bringen. Die Hauptschwierigkeit bildete immer der feste Verschluß der Stopfen am Stamme. Ohne weiteres schloß hier in den meisten Fällen der Stopfen nicht absolut dicht. Mit dem gelösten Kautschuk und mit fester Kautschukmasse, welche mit einem heißen Messer weich gemacht wurde, gelang es aber stets, einen festen Verschluß herbeizuführen. Es muß natürlich die Vorsicht beobachtet

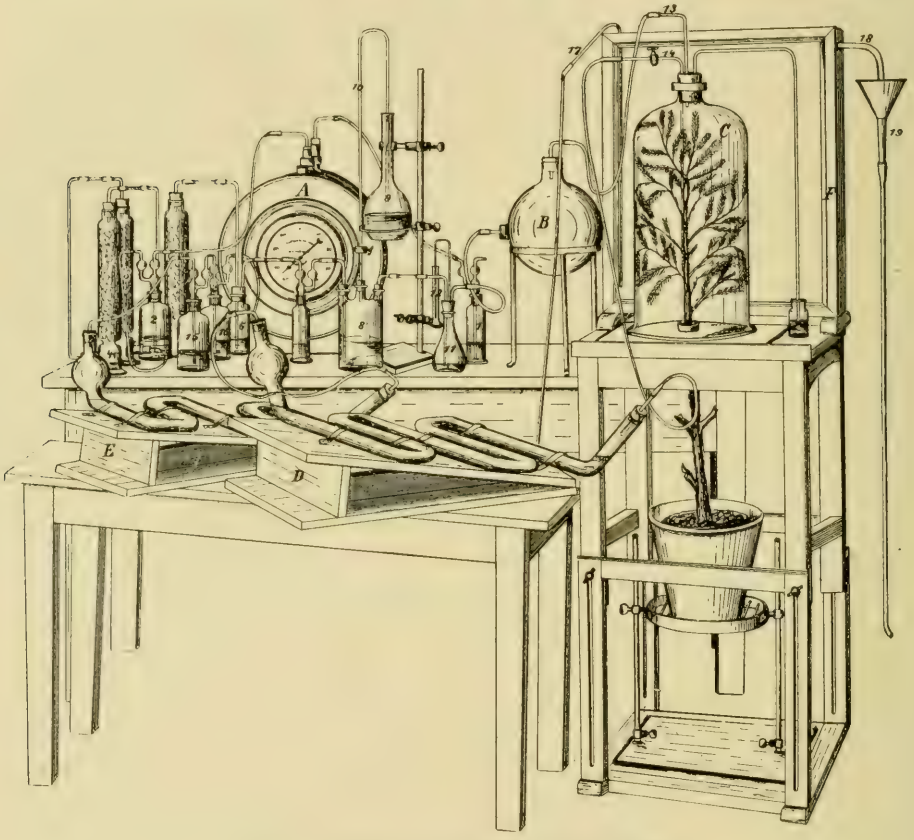


Abb. 4. Apparat für die Assimilationsversuche.

werden, das Loch im Kautschukstopfen nicht zu weit zu machen. Da die Stämme der Versuchspflanzen nicht immer von gleicher Dicke sind, so waren Stopfen mit verschieden weiten Löchern vorhanden, oder solche wurden hergestellt, wie es der Bedarf erforderte.

Durch den so montierten Apparat wurde die Luft mittels der Wasserstrahlluftpumpe durchgesogen. Nachdem die Luft eine Waschflasche (1) mit etwas Wasser passiert hatte, damit etwaige Säure zurückgehalten wurde, trat sie in den Gasmesser A ein, wo das Quantum Luft, welches stündlich

durch den Apparat strich, ermittelt wurde. In einer Flasche mit Schwefelsäure (2) wurde das aus dem Gasmesser mitgerissene Wasser absorbiert, dann passierte die Luft hintereinander drei Trockentürme (3, 4, 5), welche mit Bimstein und Kalistücken beschickt waren, und ein mit Kalilauge gefülltes Gefäß (6). Als Indikator, daß der Luft alle Kohlensäure entzogen war, diente etwas Barytlauge in einer kleinen Waschflasche (7), welche die Luft passieren mußte, vor dem sie in die Woulf'sche Flasche (8) eintrat. Sie war mit drei Tubuli versehen, welche durch einfach durchbohrte Gummistopfen verschlossen waren. Durch den einen Tubulus reichte das Zuleitungsrohr bis auf den Boden der Flasche, durch den zweiten Tubulus tauchte das Ableitungsrohr mit seiner Mündung bis oben unter den Stopfen in das Gefäß. Durch den mittleren Tubulus ragte ein kapillarer Heber (10) in den oberen Teil der Flasche hinein. Mit dem anderen Ende tauchte der Heber in einen mit einer Sodalösung gefüllten Literkolben (9); der Zufluß der Lösung zu der Schwefelsäure in der Woulf'schen Flasche konnte durch einen Glashahn reguliert werden. Aus der Woulf'schen Flasche wurde die Luft in ein mit dreifach durchbohrtem Gummistopfen verschlossenes Erlenmeyerkölbchen (11) geleitet. Der Boden dieses Gefäßes war mit einer niedrigen Schicht Schwefelsäure bedeckt, in welche das Zuleitungsrohr eintauchte. Durch die zweite Durchbohrung führte das Ableitungsrohr, das etwas unterhalb des Stopfens in das Gefäß einmündete, und durch die dritte Durchbohrung führte ein ganz feiner Kapillarheber in den oberen Teil des Kölbchens, der mit dem anderen Ende in einen kleinen engen Meßzylinder (12) tauchte. Durch den Heber tropfte schwefligsaures Natrium in die Schwefelsäure, wodurch schweflige Säure entwickelt wurde. Die mit Säure beladene Luft gelangte nun in die etwa 5 Liter haltende Glaskugel (B), von wo aus sie durch das Rohr 13 in die Glasglocke (C) einströmte. Das mit einem Glashahn ausgerüstete Ableitungsrohr 14 stand mittels eines Gummischlauches mit den beiden Vorlagen D und E in Verbindung. Zwischen der Vorlage E und der Pumpe waren noch zwei Waschflaschen 15 und 16 eingeschaltet, welche Barytlauge enthielten. Etwa von den Vorlagen nicht absorbierte Kohlensäure konnte hier noch zurückgehalten werden.

In der Woulf'schen Flasche wurde die Luft mit Kohlensäure beladen. In den Literkolben wurde eine Sodalösung von genau bekanntem Gehalt an Kohlensäure gefüllt und die verbrauchte Menge Lösung durch Abwägen oder Abmessen ermittelt. Die Anwendung eines Kapillarrohres als Heber war notwendig, damit die Sodalösung nicht zu schnell in die Schwefelsäure eintropfte. Je schneller die Lösung tropfte, um so verdünnter hätte sie gewählt werden müssen; eine stark verdünnte Lösung war aber zu vermeiden, um die Schwefelsäure in der Woulf'schen Flasche

nicht zu stark zu verdünnen, wodurch vielleicht Kohlensäure hätte zurückgehalten werden können. Auch war es mit Rücksicht auf die Kosten wünschenswert, den Verbrauch an Schwefelsäure möglichst einzuschränken. Indem die Sodalösung regelmäßig in die Schwefelsäure tropfte, wurde ein konstanter Kohlensäurestrom erzeugt. Absolute Konstanz ist nicht zu erzielen; denn die Geschwindigkeit, mit welcher die Sodalösung in die Schwefelsäure tropft, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Mit dem Sinken des Niveaus der Sodalösung muß sich die Geschwindigkeit ändern. Sie ist ferner von der Geschwindigkeit abhängig, mit welcher die Wasserstrahlluftpumpe arbeitet, die wiederum durch das Schwanken des Wasserdrucks beeinflußt wird. Es können aber auch unvorhergesehene Unregelmäßigkeiten auftreten, wenn etwaige kleine Verunreinigungen aus der Sodalösung in die Kapillarröhre des Hebers gelangen. Indem diese die Röhre teilweise verstopfen, verringert sich natürlich die Geschwindigkeit, mit welcher die Sodalösung durchfließt. Sobald derartige Verstopfungen beobachtet wurden, wurde der Heber ausgewechselt und gereinigt.

Alle diese Fehlerquellen zusammen können nicht unbedeutende Differenzen in dem Kohlensäuregehalt der Luft herbeiführen. Er ist deshalb weder in allen Versuchzn noch in einem und demselben Versuch konstant. Diese Unregelmäßigkeiten fallen aber ins Gewicht, da in den Versuchen ein verhältnismäßig geringer Kohlensäuregehalt der Luft zur Anwendung kommen sollte.

Wünschenswert wäre es gewesen, denselben Gehalt an Kohlensäure anzuwenden, wie er sich in der atmosphärischen Luft befindet. Eine Berechnung aber ergab, daß dieser Gehalt bei der für meine Versuche möglichen Luftgeschwindigkeit nicht ausreichend gewesen wäre, in allen Fällen den Bedarf an Kohlensäure zu decken. Als Regel wurde deshalb ein Kohlensäuregehalt von $^1/_{10}$ Vol.-% in der Luft gewählt, doch ist vielfach der Gehalt darunter geblieben, in mehreren Fällen kam er dem natürlichen Gehalt sehr nahe. In einigen Versuchen wurde absichtlich ein höherer Kohlensäuregehalt gewählt, wenn etwa bei schwächerer Beleuchtung oder bei geringer Blattmasse ein größerer Ausschlag in der Assimilation erzielt werden sollte. Doch schwankte auch dann der Gehalt an Kohlensäure nur zwischen $^1/_{10}$ und 1 %. Die Zahl dieser Versuche ist eine beschränkte. Konzentrationen von über 1 % lassen sich auf die Dauer für diese Versuche nicht verwenden, da die Arbeit, welche damit verknüpft ist, ungeheuer wächst und die Genauigkeit der Ergebnisse leidet. Schon Konzentrationen, welche sich 1 % nähern, sind höchst unbequem für den Experimentator. Wäre man gezwungen, aus irgend welchen Gründen mit höheren Konzentrationen zu arbeiten, so müßte man vor allen Dingen andere Absorptionsmittel haben, als ich anwendete — ich benutzte Baryt-

lösung, welche eine genaue quantitative Bestimmung der Kohlensäure gestattet, ohne daß ein Übermaß an Arbeit damit verbunden ist. Kreusler[1]) gibt an, bei seinen Untersuchungen über die Assimilation geeignetere Absorptionsmittel angewandt zu haben. Ich habe mich aber vergeblich in der Literatur umgesehen, seine Methode zu finden, und ich muß annehmen, daß sie nicht veröffentlicht worden ist.

Die Menge Kohlensäure, welche ein bestimmtes Quantum Sodalösung von bestimmtem Gehalte liefert, läßt sich nur empirisch feststellen. In einem blinden Versuche wurde zunächst der Gehalt an Kohlensäure ermittelt, indem man eine bestimmte Menge der zu benutzenden Sodalösung in die Schwefelsäure tropfen ließ und die entwickelte Kohlensäure in titrierter Barytlösung auffing. Es empfiehlt sich, zu diesem Versuch annähernd dieselbe Menge Sodalösung zu benutzen, welche für die Assimilations-Versuche Verwendung finden soll. Selbstverständlich müssen mehrere Bestimmungen ausgeführt werden, damit man ein übereinstimmendes Ergebnis zwischen zwei Bestimmungen erhält. Anfänglich wurden diese Bestimmungen nur für ein kleineres Quantum der zu benutzenden Sodalösung ausgeführt, so daß häufiger derartige blinde Versuche notwendig wurden. Später wurde ein großes Quantum einer konzentrierten Sodalösung hergestellt, welche stets mit der dreifachen Menge Wasser verdünnt wurde. Für diese letztere Lösung wurde durch blinde Versuche genau die Menge Kohlensäure bestimmt, welche sie zu entwickeln vermochte. 1 g Lösung lieferte 1,135 mg CO_2. Die für jede Stunde Assimilation gebrauchten Mengen Sodalösung unterliegen nach dem Gesagten Schwankungen, es lassen sich deshalb hier keine für alle Versuche gültige Zahlen angeben, für jeden einzelnen Versuch wurde die Menge ganz genau ermittelt und aus ihr die der Pflanze zugeführte Kohlensäure berechnet. Diese Menge wurde in Kubikzentimeter umgerechnet und zu der während des betreffenden Zeitraumes durch den Apparat hindurchgegangenen Luft in Beziehung gestellt, woraus sich der prozentische Gehalt der Luft an Kohlensäure ergab.

Die schweflige Säure wurde in ganz analoger Weise wie die Kohlensäure gewonnen. Eine titrierte Lösung von schwefligsaurem Natrium tropfte durch den Heber in den Erlenmeyer'schen Kolben hinein und wurde durch die Schwefelsäure zersetzt. Der Heber bestand aus einem noch engeren Kapillarrohr als das für die Sodalösung und konnte deshalb nicht mit einem Hahn versehen werden. Der Heber wurde mit dem langen Schenkel erst in dem Augenblick durch den Gummistopfen gesteckt, wo die Säureeinwirkung beginnen sollte; bis dahin war die Durchbohrung durch einen Glasstab verschlossen. Wenn man nach Abstellen der Pumpe

[1]) Landwirtschaftliche Jahrbücher 1887 Bd. 16, 1888 Bd. 17, 1890 Bd. 19.

noch einen Augenblick wartet, kann man die Verschlüsse auswechseln, ohne das Eindringen einer erheblichen und dadurch störenden Menge Luft befürchten zu müssen. Die Lösung des schwefligsauren Natriums befand sich in einer engen graduierten Röhre, so daß die verbrauchte Menge bequem und genau abgelesen werden konnte.

Da sich die schweflige Säure sehr leicht oxydiert, namentlich bei den starken Verdünnungen, welche in meinen Versuchen zur Anwendung kamen, war es notwendig, den Gehalt des schwefligsauren Natriums an schwefliger Säure vor Beginn und nach Beendigung des Versuches durch Titration zu ermitteln. Bei Ausführung der älteren Versuche war die Geschwindigkeit, mit welcher die Oxydation erfolgte, unterschätzt worden, und deshalb die Titration am Ende des Versuches unterblieben. Die anfänglich ermittelte Konzentration wurde als während des ganzen Versuches herrschend betrachtet. In den späteren Versuchen wurde mindestens am Ende noch einmal titriert und aus beiden Bestimmungen das Mittel genommen. In anderen Fällen wurde sogar während des Versuches die Lösung des schwefligsauren Natriums erneuert.

Da die Geschwindigkeit des Tropfens des fehlenden Hahns wegen nicht reguliert werden konnte, wie es bei der Sodalösung möglich war, so konnten verschiedene Konzentrationen der schwefligen Säure in der Luft nur dadurch erzeugt werden, daß verschieden konzentrierte Lösungen von schwefligsaurem Natrium benutzt wurden. Immerhin ist es unmöglich, eine ganz genau vorher bestimmte Konzentration an schwefliger Säure in der Luft des Apparates herzustellen, da zu viele Fehlerquellen vorhanden sind. Die bereits bei der Sodalösung berührten Fehlerquellen gelten auch für die Produktion schwefliger Säure. Dazu gesellt sich dann noch der wichtige Faktor der Oxydation in der Lösung von schwefligsaurem Natrium. Innerhalb gewisser Grenzen ist man also immer vom Zufall abhängig. Wenn bei den Versuchen nichts besonderes erwähnt ist, so ist das Mittel aus zwei Titrationen am Anfang und am Ende des Versuches genommen worden. Die so ermittelte Menge schwefliger Säure, welche während des Versuches durch den Apparat hindurchstrich, wurde in Kubikzentimetern umgerechnet und in Verhältnis gesetzt zu dem während des gleichen Zeitraumes durch den Apparat hindurchgegangenen Luftquantum. Dies Verhältnis gibt dann den Gehalt der Luft an Säure, welchem die Versuchspflanze ausgesetzt war, an. Es mag dabei berücksichtigt werden, daß der wahre Wert etwas niedriger oder etwas höher sein kann, daß die Konzentration auch in gewissen Abschnitten kleinen Schwankungen unterliegen kann. Übrigens kommt es darauf bei der starken Verdünnung, in welcher die Säure gemeiniglich zur Anwendung kam, nicht an. Es ist ziemlich gleichgültig, ob die Konzentration 1 : 77770 oder nur 1 : 70000 ist, oder

ob sie 1 : 337700 oder nur 1 : 300000 beträgt, meistens wird aber der Unterschied nicht einmal so bedeutend sein.

Zu erwähnen ist noch, daß nur wenig Schwefelsäure zur Anwendung kam, so daß in unserem Falle aller Wahrscheinlichkeit nach nur sehr wenig schweflige Säure absorbiert worden ist, denn die Verdünnung, welche die Schwefelsäure durch das Zutropfen des schwefligsauren Natriums erleidet, ist sehr unbedeutend. In einem Versuch mit der Eiche, bei welchem eine bedeutende Konzentration der schwefligen Säure in der Luft zur Anwendung kam (1 : 66400) waren im Laufe von 5 Stunden 11,85 ccm schwefligsaures Natrium in die Schwefelsäure hineingetropft. In einem anderen Versuch mit der Eiche waren in 4 Stunden 8,05 ccm zugetropft. Da permanent ein Luftstrom durch die Schwefelsäure streicht und auch nach Beendigung des Versuches in den meisten Fällen noch zwei Stunden lang Luft durchgesogen wurde, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß nennenswerte Mengen schwefliger Säure zurückgehalten wurden, nicht groß; der angegebene Wert für die Konzentration in der Luft dürfte deshalb hierdurch wenig beeinflußt werden. Selbst wenn etwas zurückgehalten wird, macht sich diese geringe Menge, wie die Versuche ergeben, in der Tätigkeit der Pflanze nicht bemerkbar. Schaltet man hinter der Pflanze ein Gefäß mit Lackmuslösung ein, so färbt sich dieses sehr bald rot, wenn in der angegebenen Weise schweflige Säure entwickelt wird. Nach Beendigung der Entwicklung von schwefliger Säure wurde hinter der Pflanze frische Lackmuslösung eingeschaltet und nun wieder für längere Zeit Luft durch den ganzen Apparat gesogen. Eine Entfärbung konnte nicht beobachtet werden. Nennenswerte Mengen, welche allmählich durch die Luft aus der Entwicklungsflasche verdrängt werden, können also nicht vorhanden gewesen sein. Bleiben kleine Mengen schwefliger Säure zurück, so ist es jedenfalls ausgeschlossen, daß dieselben später die Versuchsergebnisse ungünstig beeinflussen.

Die Titration des schwefligsauren Natriums geschah mit $^1/_{10}$ Normal-Jodlösung, bei sehr starken Verdünnungen eventuell auch mit $^1/_{100}$ Normal. Bei Gegenwart von Jod und Wasser wird die schweflige Säure zu Schwefelsäure oxydiert nach der Formel

$$SO_2 + 2\,J + 2\,H_2O = H_2SO_4 + 2\,HJ.$$

1 ccm Zehntelnormallösung entspricht 0,003195 g SO_2. Es wurden jedesmal 10 ccm der Lösung von schwefligsaurem Natrium titriert. Aus der Zahl der erforderlichen Kubikzentimeter Jodlösung läßt sich dann leicht der Gehalt an schwefliger Säure in der titrierten Flüssigkeit berechnen.

Gelegentlich wurde auch in Wasser gelöste schweflige Säure benutzt, um eine eventuelle Absorption derselben durch die Schwefelsäure auszuschließen. Dann wurde der Erlenmeyer'sche Kolben ohne Schwefelsäure

benutzt, die herabtropfende wäßrige schweflige Säure fiel auf den durch eine kleine Lampe erwärmten Boden des Erlenmeyers und verdampfte. Auch diese Methode ist brauchbar, doch mag vielleicht die Gegenwart des Wasserdampfes die Oxydation der Säure begünstigen und beschleunigen.

Die Hauptschwierigkeit bei unserer Versuchsanstellung schien anfänglich die Absorption der Kohlensäure, nachdem sie die Versuchspflanze passiert hatte, zu bieten, und doch lag gerade auf der ausreichenden Absorption der Kohlensäure der Hauptnachdruck, da ja aus der Differenz zwischen der zugegebenen und der wiedergefundenen Kohlensäure unter Hinzurechnung der Atmungskohlensäure die Assimilationsgröße ermittelt werden sollte. Die Schwierigkeit war deshalb groß, weil die Absorption aus einer Luft erfolgen mußte, welche mit einer beträchtlichen Geschwindigkeit, etwa 100 l in der Stunde, durch den Apparat strich. Verlangsamte man die Geschwindigkeit erheblich, was mit Rücksicht auf die Kohlensäureversorgung der Pflanze vielleicht nicht geschadet hätte, so war man nicht mehr imstande, bei sehr starken Verdünnungen der Pflanze ausreichende Mengen schwefliger Säure während der Versuchsdauer zuzuführen, wenn man erwägt, daß man mit sehr starken Verdünnungen, selbst mit einer Konzentration von 1 : 1000000 rechnen mußte. Andererseits mußte die Absorption nicht nur vollkommen sein, sondern auch in handlichen Gefäßen vor sich gehen, so daß man die Kohlensäure einigermaßen schnell und genau bestimmen konnte. Die Absorption durch Kalilauge ausführen zu lassen und den Gehalt an Kohlensäure aus der Gewichtszunahme zu bestimmen, erwies sich schnell als ungeeignet, weil die Kalilauge ganz unregelmäßig bald Gewichtszunahme, bald Gewichtsabnahme aufwies. Ich versuchte nun die Absorption durch Barytwasser zu bewerkstelligen und den Gehalt an Kohlensäure durch Titrieren mit Oxalsäure festzustellen. Diese Methode hat denn auch nach einigem Herumprobieren zu dem gewünschten Resultat geführt.

Da die Versuche auf mehrere Stunden ausgedehnt werden sollten, mußte stets ein großes Quantum Kohlensäure absorbiert werden, und damit es absorbiert werden konnte, mußte es eine große Flüssigkeitsschicht passieren. Absorptionsröhren etwa von der Gestalt der Absorptionsröhren aus dem Pettenkofer-Pfeffer'schen Atmungsapparat allerdings von sehr viel größerem Querschnitt, die 1000 ccm Lösung fassen konnten, erwiesen sich als unzureichend für die Absorption; ein Wechsel der Absorptionsröhren nach dem Schema des Atmungsapparates war damit ausgeschlossen. Endlich gelangte ich zum Ziele mit schlangenförmig gewundenen Röhren von ca. $2^1/_2$ cm Durchmesser, welche an dem der Pumpe zugekehrten Ende in eine Kugel ausliefen, während das andere Ende etwas aufwärts gebogen war. Die Röhren (siehe Abb. 4, S. 106) wurden auf Brettern befestigt,

welche eine kleine Neigung gegen die Horizontale besaßen, so daß die Flüssigkeit immer nach dem unteren Ende hinströmte und die Kohlensäure die Flüssigkeit passieren mußte. Durch die schlangenförmige Gestalt wurde erreicht, daß die Röhren ausreichend handlich waren, daß sie ein großes Quantum Flüssigkeit (800—1000 ccm) fassen konnten, und daß die Absorption erleichtert wurde. Die Enden waren mit einfach durchbohrten Gummistopfen verschlossen, durch welche Einleitungs- und Ableitungsröhren führten. Mittels Kautschukschläuchen wurden diese Vorlagen miteinander und mit dem Apparat und der Pumpe verbunden. Von diesen Vorlagen wurden immer mehrere bei den Assimilationsversuchen vorgelegt, anfänglich auch noch eine oder zwei Waschflaschen, wie in unserer Abbildung 4 zu sehen ist, um festzustellen, ob auch alle Kohlensäure absorbiert werde. Später blieben die Waschflaschen weg, und es wurden vier Vorlagen vorgelegt, nachdem man sich davon überzeugt hatte, daß eine ausreichende Absorption durch dieselben stattfand. Natürlich hatte man es immer in der Gewalt, namentlich wenn ein etwas höherer Kohlensäuregehalt der Luft in Frage stand, den Versuch für einen Augenblick zu unterbrechen und eine vollständig gesättigte Vorlage durch eine frische zu ersetzen. Nach einiger Übung konnte man mit diesen Vorlagen tadellos arbeiten, so daß kein Verlust an Kohlensäure zu befürchten war.

Die Versuche, welche mit diesen Vorlagen ausgeführt wurden, bedingten natürlich einen großen Verbrauch an Barytlösung. Um stets einen ausreichenden Vorrat zur Verfügung zu haben, habe ich zwei Schwefelsäureballons verwendet, von denen der eine die zur Füllung der Vorlage fertige Lösung enthielt (Abb. 6), der andere zur Aufnahme der verbrauchten Lösung diente (Abb. 5). Die zu entleerenden Vorlagen wurden in den mit Fließpapier ausgekleideten Trichter D geschüttet, der den kohlensauren Baryt zurückhielt. Zur Ergänzung des Quantums wurde Barythydrat und Wasser zu dem Ballon gefügt. Des bequemeren Transportes wegen standen die Ballons in zylindrischen Zinkbehältern mit Holzboden (A). Die Ballons sind mit einem Gummistopfen luftdicht verschlossen. Durch die eine Durchbohrung führt ein Rohr (b Abb. 6), welches mit dem Trichter zur Füllung in Verbindung gesetzt wird (Dn Abb. 5), durch die zweite Durchbohrung führt der innere Schenkel des Heberrohres (c Abb. 6), das bis auf den Boden reicht, in die dritte Durchbohrung wird der eine Schenkel eines U-förmig gebogenen Rohres gesteckt, welches mit Kalilauge getränkte Bimsteinstücke enthält (a Abb. 6). Hierdurch wird die in den Ballon eindringende Luft ihrer Kohlensäure beraubt und kann also nicht den Titer der Lösung ändern. In Abb. 5 ist dies Rohr weggeblieben, weil die Luft aus dem Ballon durch diese Durchbohrung entweichen muß. Da jede Vorlage mit einem genau abgemessenen Quantum Flüssigkeit gefüllt werden mußte,

so stand der Heber (c Abb. 6), durch welchen die Lauge abgezapft wurde, mit einem Meßgefäß in Verbindung. Abb. 6 zeigt uns die Anordnung des gefüllten Ballons und seiner verschiedenen Teile. Auf einem breiten Tische C ist ein vierbeiniger Bock D befestigt, auf dessen Platte der Zinkbehälter gestellt wird. Das Heberrohr c mündet in die Meßröhre, welche auf dem an D befestigten Brett E F angebracht ist. Die zylindrische Meßröhre verjüngt sich nach unten und ist hier mittels Kautschukschlauch und Quetschhahn (p) geschlossen. Am anderen Ende trägt sie einen doppelt durchbohrten Kautschukstopfen. Durch die eine Durchbohrung mündet das Heberrohr c, welches bei n einen Quetschhahn trägt; durch die andere Durchbohrung steht die Meßröhre mit einem U-Rohre f in Verbindung. Es enthält mit Kalilauge getränkte Bimsteinstücke und verhindert, daß kohlensäurehaltige Luft beim Ausfließen der Barytlauge aus der Meßröhre in diese eindringt. Die Skala d reicht von 0—500 und ist in 10 Teile geteilt. Zur Füllung schließt man den Quetschhahn p, öffnet den Quetschhahn n und schließt ihn wieder, wenn die Flüssigkeit bis 0 gestiegen ist. Die Öffnung des Quetschhahnes p gestattet, so viel Flüssigkeit abzulassen, als man benötigt. Die Meßröhre ruht mit ihrem verjüngten Ende auf einer durchbohrten Leiste und ist an dem oberen Ende auf dem Brette F mit der Klammer o befestigt. Wenn man sie öffnet, kann man die Röhre zur Reinigung herausnehmen.

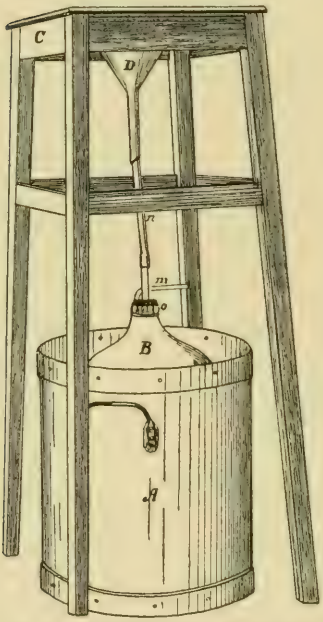


Abb. 5. Behälter für Barytlauge mit Füllvorrichtung, ca. $^1/_{19}$ nat. Gr.

Mit Rücksicht auf die von Pettenkofer[1]) angegebenen Fehlerquellen beim Titrieren mit Oxalsäure wurde der Barytlösung immer etwas Chlorbaryum zugesetzt. Es versteht sich von selbst, daß bei der angegebenen Art der Füllung der Ballons, wenn von dem allerersten Ballon abgesehen wird, der Gehalt an Barythydrat sehr ungleichmäßig sein mußte. Die Anwendung einer Barytlösung von konstantem Gehalt für alle Versuche hätte das Arbeiten außerordentlich erschwert und verteuert, was beides zu vermeiden war. Schon so nahm die sorgfältige Ausführung der Versuche

[1]) Abhandlungen d. Bayer. Akad. d. Wissenschaften 1862 Bd. IX, Abt. 2 S. 231.

inkl. der Titration sehr viel Zeit in Anspruch. Übrigens kam auch wenig auf eine konstante Barytlösung an. Für jeden Arbeitstag wurde der Titer der Lösung neu bestimmt.

Gegen die Anwendung dieser Methode machte sich zunächst ein wichtiges Bedenken geltend, ob es nämlich möglich sei, bei großen Flüssigkeitsmengen den Kohlensäuregehalt durch Titration mit Oxalsäure genau genug zu bestimmen. Es verstand sich von selbst, daß der Inhalt jeder Vorlage für sich bestimmt wurde. Aber selbst von dem Inhalt einer Vorlage konnte immer nur ein Bruchteil bestimmt werden, denn die ganze Masse zu titrieren, wäre zu zeitraubend und zu kostspielig geworden. Es konnte sich also nur darum handeln, welcher Bruchteil gewählt werden sollte. Nach wiederholten Versuchen mit verschiedenen Mengen blieb man endlich bei der Titration von 25 ccm stehen. Enthielt die Vorlage 1000 ccm, mußte der gefundene Wert mit 40, enthielt sie nur 800 ccm, immer noch mit 32 multipliziert werden. Durch die Multiplikation mit einem so großen Faktor schien die Bestimmung eine zu große Ungenauigkeit zu erreichen, doch ist das nur scheinbar. Wenn man in jedem einzelnen Falle die Titration so lange fortsetzt, bis man zwei genau übereinstimmende Bestimmungen erhält — bei einiger Übung ist das zu erreichen — ist der Fehler nicht bedeutend. An der Bürette kann man genau $^1/_2$ Zehntel eines Kubikzentimeters ablesen. Die beiden übereinstimmenden Bestimmungen können um den wahren Wert nur um $^1/_2$ Zehntel herum schwanken. Bei der Multiplikation kann demnach der Fehler nur das Vierzigfache dieses Betrages ausmachen. Entspricht 1 ccm Oxalsäure 1 mg CO_2, so würde also der Fehler, der in einer Vorlage gemacht wird, 2 mg ausmachen. Das ist ein verschwindender Betrag gegenüber den Beträgen, welche sonst in Frage stehen. Wenn die Assimilation sich auf 4—6 Stunden erstreckt und es sind dazu 4 Vorlagen à 1000 ccm nötig gewesen, so würde der Fehler für diesen ganzen Versuch 8 mg betragen, das macht für die Stunde einen Fehler von 2 mg, der nicht ins Gewicht fällt, wenn

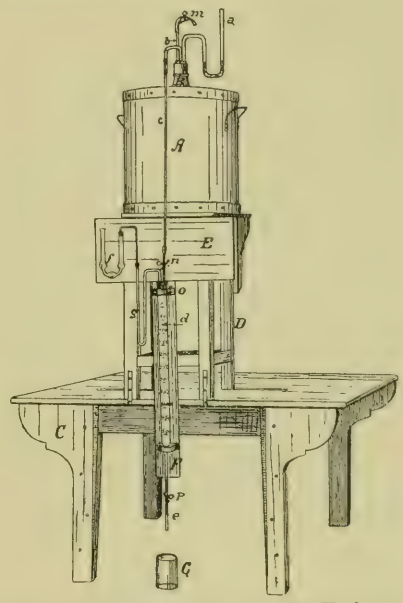


Abb. 6. Apparat zur Füllung der Vorlagen mit Barytlauge, ca. $^1/_{33}$ nat. Gr.

die assimilierte Menge 50—100 mg in der Stunde beträgt. Selbst wenn der Fehler noch etwas größer wäre, wäre er nicht von Belang. Diese Erwägungen haben mich bestimmt, diese Methode anzuwenden. Die nach ihr ausgeführten Versuche zeigen denn auch, daß sie von durchaus ausreichender Genauigkeit ist. Es war sogar möglich, unter Anwendung einer Vorlage Atmungsversuche auszuführen, bei denen die stündlich ausgegebene Kohlensäuremenge nur 8 mg betrug. Dieser Betrag kann also um etwas falsch sein. Es ist aber gleichgültig, ob der wahre Betrag 8 oder 10 mg ist; es kommt hier lediglich auf relative Verhältnisse an. Ob die Atmungsgröße 8 oder 10 oder etwa 20 ist, läßt sich trotz aller Fehler scharf feststellen.

Vordem die Vorlagen nach Beendigung des Versuches ausgeleert wurden, wurden sie der Sicherheit wegen, daß auch eine gleichmäßige Mischung der Flüssigkeit stattfand, tüchtig durchgeschüttelt. Ein Teil der Flüssigkeit wurde in verschließbare Gefäße gefüllt, der Rest auf das Filter gegeben und in den Ballon (Abb. 5) filtriert. Die Titration wurde erst vorgenommen, nachdem sich der Niederschlag abgesetzt hatte. War die Barytlösung einer Vorlage vollständig erschöpft, so wurde etwas Barytlösung vor dem Titrieren zugesetzt, um die in dem Wasser gelöste Kohlensäure zu fällen. Die Titration geschah in bekannter Weise mit Oxalsäure, von der 1 ccm 1 mg CO_2 entsprach, und mit Phenolpthaleïn als Indikator.

Um zu zeigen, welche übereinstimmenden Resultate diese Methode liefern kann, führe ich drei Versuche mit drei verschiedenen Fichten an. Die Assimilation wurde unter normalen Verhältnissen für etwa 6 Tagesstunden täglich ermittelt und für die Stunde berechnet.

I.	11. Dezember	58,8 mg	CO_2.	II.	30. November	61 mg	CO_2.
	12. „	59,7 „	„		1. Dezember	60,5 „	„
	14. „	58 „	„		3. „	61,5 „	„

III.	31. Oktober	58 mg	CO_2.
	1. November	61,5 „	„
	2. „	59,8 „	„

Die im vorstehenden geschilderte Methode zur quantitativen Bestimmung der Assimilation läßt sich natürlich überall und für jede Beleuchtungsart anwenden, ist auch für die im freien Lande wurzelnden Pflanzen verwertbar. Für meine Zwecke, da ich die normale Assimilation mit der Assimilation unter Einwirkung eines sauren Gases vergleichen wollte, mußte ich Bedacht darauf nehmen, als Lichtquelle eine konstante Lichtquelle zu verwenden. Damit fiel das Sonnenlicht weg, und es mußte an künstliche Beleuchtung gedacht werden. Dieser Umstand hatte weiter zur Folge, daß die Versuche im Dunkelzimmer des Laboratoriums aus-

geführt werden mußten. Als Versuchsmaterial ließen sich nur Zweige oder bewurzelte Pflanzen als Topf- oder Wasserkulturen verwenden.

Die Beschaffung einer künstlichen Lichtquelle bot anfangs Schwierigkeiten. Natürlich war von vornherein elektrisches Licht als Lichtquelle ins Auge gefaßt worden; auch standen mir in meinem Dunkelzimmer zwei Bogenlampen zur Verfügung, doch wollte es mir anfänglich nicht gelingen, diese für meine Zwecke nutzbar zu machen. Eine Einschaltung des Apparates zwischen die beiden Bogenlampen, so daß die Pflanze von zwei Seiten beleuchtet wurde, führte zu keinen befriedigenden Resultaten, weil die Assimilationswerte zu gering ausfielen. Es wollte mir nicht gelingen, das Licht in ausreichender Stärke auf die Pflanze zu konzentrieren. Nach den Erfahrungen Kreuslers muß die Lampe sehr dicht an den Apparat gebracht werden, wenn die Assimilationswerte ausreichend groß werden sollen; dann findet aber eine solche starke Erwärmung der Pflanze statt, daß sie zugrunde geht. Es ist notwendig, die Hauptmasse der Wärme zu beseitigen, was, wie schon Kreusler gezeigt hat, möglich ist, wenn man das elektrische Licht durch eine Wasserschicht hindurch gehen läßt. Bei meiner geplanten Versuchsanstellung mußte vor jede Lampe eine Cuvette mit fließendem Wasser gelegt werden, was bei der mir zur Verfügung stehenden Einrichtung schlecht auszuführen war und den ganzen Apparat sehr unhandlich machte. Obendrein blieben die Assimilationswerte sehr gering. Alle diese Übelstände glaubte ich durch Anwendung eines Scheinwerfers beseitigen zu können und habe mich darin auch nicht getäuscht. Dank dem Entgegenkommen des hiesigen Elektrizitätswerkes stand mir ein kleines Exemplar zur Verfügung, welches in einiger Entfernung von dem Untersuchungsobjekte aufgestellt wurde. Das Licht passierte eine Cuvette mit fließendem Wasser, wodurch ihm seine Schädlichkeit geraubt wurde. Wollte man die Wirkung des einseitig auf die Pflanze auffallenden Lichtes verstärken, so konnte man auf die abgewandte Seite der Glaskugeln — damals experimentierte ich noch mit diesen — ein weißes Blatt Papier legen, welches das austretende Licht wieder in die Glocke zurückwarf. Während mehrerer Monate konnte ich mit diesem Scheinwerfer arbeiten, und mit ihm habe ich brauchbare, aber durchaus keine sehr hohen Assimilationswerte erhalten, trotzdem die Temperaturen für die Assimilation sehr vorteilhafte waren. Als ich diesen Scheinwerfer wieder zurück geben mußte, da er anderweitig benutzt wurde, hatte Herr Prof. Dr. Grotrian, der Vorstand des elektrotechnischen Instituts unserer Hochschule, die Liebenswürdigkeit, mir einen großen Scheinwerfer von Siemens & Halske aus seinem Institut zur Verfügung zu stellen. Es ist mir eine angenehme Pflicht, ihm an dieser Stelle für seine bereitwillige Unterstützung meinen verbindlichsten Dank auszusprechen. Dieser Scheinwerfer

hatte eine Stromstärke von ca. 35 Amp. und erzeugte außer einer großen Helligkeit auch eine außerordentlich hohe Temperatur, so daß er nicht so dicht an die Pflanze herangebracht werden konnte, wie es für den beabsichtigten Zweck wünschenswert gewesen wäre. Die direkte Entfernung der Versuchspflanze von den Kohlenstiften betrug nahezu 2 m. In einer Entfernung von etwa 25 cm von der Pflanze war eine große Cuvette aufgestellt mit fließendem Wasser, um die Wärmestrahlen des elektrischen Lichtes möglichst zu absorbieren. Es war unmöglich, das vollständig zu erreichen. Sobald der Scheinwerfer brannte, erhöhte sich die Temperatur in der Glocke ganz erheblich, was zum Teil auf die durch den Scheinwerfer erhöhte Temperatur des Dunkelzimmers, hauptsächlich aber auf die direkte Bestrahlung zurückzuführen war. Durch Regulierung der Heizung des Raumes — die Versuche wurden im Winter ausgeführt — eine konstante Temperatur herbeizuführen, ob der Scheinwerfer brannte oder nicht, war unmöglich. Auf 30, selbt 32° stieg die Temperatur in der Glocke, wenn der Scheinwerfer in Tätigkeit war. Um das Licht möglichst auszunutzen, kamen die großen Glocken (s. Abb. 4) und die oben erwähnten Glaskasten zur Anwendung, bei denen auf der von dem Scheinwerfer abgewandten Glaswand ein Stück weißes Papier als Reflektor befestigt wurde. Mit diesem Scheinwerfer habe ich die höchsten überhaupt erhaltenen Assimilationswerte gewonnen. In einzelnen Versuchen mit der Fichte wurden stündlich 100 ja selbst 120 mg CO_2 verarbeitet. Natürlich sind diese Zahlen nicht imstande, eine Vorstellung von der Größe der Assimilation bei der Beleuchtung des Scheinwerfers zu geben, da die Assimilationsgröße abhängig von der Masse Laub sein muß, welche sich unter der Glocke befindet. Eine richtige Vorstellung von der Assimilationsgröße würde man nur erhalten können, wenn man die assimilierte Menge CO_2 auf die Masse des assimilatorischen Gewebes beziehen könnte, worauf ich verzichten mußte, da ich die Pflanzen nicht zerstören wollte, und selbst die Ermittelung dieses Faktors nur unbedeutenden Wert gehabt hätte. Näher liegt es schon, die Assimilationsgröße mit der Atmungsgröße derselben Pflanze in Vergleich zu setzen, muß doch unter den gewöhnlichen Assimilationsbedingungen der Pflanze die Assimilationsgröße die Atmungsgröße um das vielfache übertreffen. Nach den Untersuchungen und Berechnungen von Sachs[1]) produziert 1 qm Blattfläche der Sonnenblume in 15 Stunden eines schönen Sommertages 29 g Stärke, während der Verlust durch die Atmung während des gleichen Zeitraumes nur 1 g beträgt. Hier übertrifft die assimilierte Menge die veratmete um das vielfache.

[1]) Ein Beitrag zur Kenntnis der Ernährungstätigkeit der Blätter. Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg. 3. Bd., S. 25.

Das günstigste Verhältnis stellte sich in meinen Versuchen für Aralia japonica heraus, wo das Verhältnis 6 : 1 bis 7 : 1 war. Meistens aber war das Verhältnis ein viel ungünstigeres. Vielfach deckt der Assimilationsgewinn den Atmungsverlust gerade, in anderen Fällen übertrifft jener diesen um das zwei- bis dreifache. Möglich, daß bei unseren Bäumen das Verhältnis zwischen Assimilationsgewinn und Atmungsverlust normalerweise ganz anders und zwar viel kleiner als für einjährige Pflanzen ist. Annähernd kann die Atmung wohl ein Maß für die Assimilationsgröße geben, da die Pflanze ja zugrunde gehen muß, wenn sie hinter der Atmungsgröße zurückbleibt. Aber ein genaues Maß ist sie keineswegs, weil ihre Größe Schwankungen unterliegt. Die Atmungsgröße ist keine konstante Größe, bezogen auf die einzelnen Stunden eines Tages. Noch weniger konstant ist sie, wenn die Atmungsgröße eines Exemplars an sukzessiven Tagen in den Versuchen bei künstlicher Beleuchtung untersucht wird. Im allgemeinen verringert sich die Größe der Atmung und die Differenz zwischen Atmungsverlust und Assimilationsgewinn wächst, wenn letzterer auch konstant geblieben ist. Es wird sich noch weiterhin Gelegenheit bieten, auf das Verhalten der Atmung in den Versuchen näher einzugehen.

Man mochte die Sache drehen und wenden, wie man wollte, so ergab sich trotz der für unser Auge großen Helligkeit des Lichtes immer nur eine verhältnismäßig geringe Assimilation. Ich habe diese Ergebnisse darauf zurückgeführt, daß das elektrische Licht für die Pflanze nur eine schwache Lichtquelle ist, daß es jedenfalls verhältnismäßig arm an den für die Assimilation notwendigen Strahlen ist. Derartige Erwägungen haben mich dann einerseits dazu geführt, einmal einen vergleichenden Versuch mit Tageslicht und elektrischem Licht anzustellen, andererseits zu prüfen, ob sich nicht auch Gaslicht für die Assimilationsversuche verwenden läßt.

Anfang November wurde mit einer Fichte, welche 47 mg CO_2 im elektrischen Lichte des Scheinwerfers verbrauchte, ein Versuch im Tageslicht ausgeführt. Der 8. November war ein schöner sonniger Herbsttag. Der Assimilationsversuch dauerte mit Unterbrechung der Stunde von 1—2 Uhr von 9—4 Uhr. Um Mittag stieg unter Einwirkung des Sonnenlichtes die Temperatur unter der Glocke bis auf 27 ° C, am Nachmittag sank sie wieder bis auf 15 ° C hinab. Während der sechsstündigen Versuchsdauer waren durchschnittlich in der Stunde 51 mg CO_2 assimiliert worden. Der folgende Tag war trübe, windig und regnerisch. Infolgedessen erhöhte sich die Temperatur in der Glocke nicht über die der Umgebung, welche um 12° herum schwankte, um Mittag vorübergehend auf 14° stieg. Die Assimilation dauerte ohne Unterbrechung von 10—4 Uhr; stündlich waren aber nur 3 mg CO_2 verarbeitet worden.

Am 10. November war das Wetter etwas besser als am vorhergehenden Tage, aber Sonnenschein fehlte noch. Die höchste Temperatur betrug 15° C um Mittag, sank im übrigen bis auf 12° C herunter. Die Assimilationsdauer betrug wiederum 6 Stunden (von 10 Uhr vormittags bis 4 Uhr nachmittags); es wurden stündlich während dieses Zeitraumes 10 mg CO_2 verarbeitet.

Aus diesen Versuchsergebnissen wird man den Schluß ziehen dürfen, daß die Beleuchtung der Pflanze durch den Scheinwerfer etwa der Beleuchtung eines sonnigen Herbsttages entspricht (47 : 51). während sie ganz erheblich bedeutender ist, als die Beleuchtung, welche die Pflanze durch das diffuse Tageslicht bei trübem Wetter im Herbst erfährt. Allerdings darf nicht unberücksichtigt bleiben, daß die Temperatur in den beiden Versuchen vom 9. und 10. November erheblich niedriger war als bei den Versuchen im elektrischen Lichte. Ich war aber nicht in der Lage, die Versuchspflanze auf die gleiche Temperatur zu erwärmen.

Noch eine zweite Beobachtung steht mir zur Verfügung, welche einen ungefähren Schluß auf die Beleuchtungsstärke des elektrischen Lichtes zuläßt, wenn die Assimilationsgrößen auf die Atmungsgröße bezogen werden. Die Versuche wurden nicht zu dem Zwecke angestellt, aber sie lassen sich dazu verwerten.

Am 20. September 1901 wurde mit einer Freilandbuche ein Assimilationsversuch im Garten ausgeführt. Es war schönes helles Wetter, der Himmel im allgemeinen schwach bewölkt. Der direkte Sonnenschein wurde durch einen mit Gaze überzogenen Rahmen abgeblendet. Sobald die Sonne hinter einer Wolke verschwand, wurde auch der Rahmen entfernt. Man kann also wohl behaupten, daß die Pflanze nur von diffusem Tageslichte getroffen wurde. Es wurde eine Bestimmung von 9 Uhr 30 Min. bis 11 Uhr 30 Min. und eine zweite von 12 Uhr 30 Min. bis 2 Uhr 30 Min. ausgeführt. Die Temperatur schwankte in beiden Versuchen zwischen 25 und 31° C. Vollständig übereinstimmend ergaben beide Versuche einen Assimilationswert von 127 mg CO_2 für die Stunde. Das Mittel aus zwei Atmungsbestimmungen am Anfang und am Ende ergab 34 mg für die stündliche Atmung. In dem diffusen Tageslicht eines sonnigen Septembertages verarbeitet die Buche etwa viermal so viel Kohlensäure, als sie im Atmungsprozeß während dieser Zeit verliert. Leider stehen mir keine Versuche mit der Buche und dem Scheinwerfer zum Vergleich zur Verfügung, sondern nur Versuche, welche mit der Topfbuche bei Anwendung von Bogenlampen ausgeführt worden sind. In einem solchen Versuche betrug die Dauer der Assimilation 6 Stunden (von 10—4 Uhr), der Gehalt der Luft an Kohlensäure 0,16 %; in den Versuchen mit der Freilandbuche hatte er 0,17 resp. 0,19 % betragen, nach dieser Richtung hin sind also

die Versuche gut vergleichbar. Die stündlich assimilierte Kohlensäuremenge betrug 72 mg, die durchschnittliche Atmungsgröße für die Stunde 28 mg. Der Gewinn durch die Assimilation übertraf den Verlust durch die Atmung etwa um das $2^1/_2$fache. Allerdings darf nicht verschwiegen werden, daß in diesen Versuchen die Temperatur bedeutend niedriger gewesen ist, sie schwankte zwischen 18 und 23°; da sie aber in gleichem Grade um die optimale Assimilationstemperatur herumschwankte, in dem einen Versuch nach oben, in dem anderen nach unten, so sind die Versuche miteinander vergleichbar. Es bietet also diese Lichtquelle noch erheblich weniger als das diffuse Tageslicht eines sonnigen Septembertages aus der zweiten Hälfte des Monats. Wenn nun auch der Scheinwerfer eine etwas stärkere Beleuchtung geben mochte, als die zuletzt erwähnte Lichtquelle, so ist es doch nicht erheblich. Mir liegen freilich keine vergleichenden Versuche vor, weil ich die beiden Lichtquellen nicht neben einander vergleichen konnte, aber es läßt sich das aus den Beobachtungen an verschiedenen Exemplaren der Fichte folgern. Da immer die gleichen Glocken und die gleiche Sorte Topfpflanzen zu allen Versuchen benutzt wurden, so kommt im allgemeinen, wie man leicht aus der Erfahrung lernt, die gleiche Menge Nadeln unter die Glocke. Demnach sind eigentlich die gewonnenen Zahlen ohne weiteres vergleichbar, vorausgesetzt, daß der Prozentgehalt der Luft an Kohlensäure der gleiche gewesen ist. In allen Versuchen, welche ich mit der Fichte angestellt habe, hat sich stets eine sehr hohe Atmungsgröße ergeben, eine Atmungsgröße, welche viel bedeutender ist als diejenige der in die Untersuchung gezogenen Laubhölzer. Mir scheinen hier spezifische Eigentümlichkeiten der Fichte vorzuliegen. Jedenfalls ist das Verhältnis zwischen der Atmung und der Assimilation ein viel ungünstigeres, wenigstens hinsichtlich der Assimilation, bei der Fichte als bei den Laubhölzern. Bei Anwendung der Bogenlampen ist der Assimilationsgewinn so groß wie der Atmungsverlust oder doch höchstens sehr wenig höher als derselbe, wenn der Gehalt der Luft an Kohlensäure 0,1 % betrug. Bei den Versuchen mit dem Scheinwerfer stehen dem analoge Ergebnisse gegenüber, aber auch Versuche, wo die Atmungsgröße sehr gering, der Gewinn durch die Assimilation verhältnismäßig sehr groß war. Dann kann dieser wohl den Verlust durch die Atmung um das Drei- bis Vierfache übertreffen. Wenn man aber die absoluten Werte vergleicht, so sind in der Regel von der Fichte in den Versuchen mit dem Scheinwerfer in der Stunde ca. 60 mg verarbeitet worden und in dem oben erwähnten Versuch mit den Bogenlampen ca. 50 mg. Wie gesagt, wie die Erfahrung lehrt, sind diese Zahlen ganz gut vergleichbar, und es würde sich daraus ergeben, daß der Scheinwerfer einen Mehrgewinn von 20 % lieferte.

Welche Vorrichtung zur elektrischen Beleuchtung man auch anwenden mag, in allen Fällen erweist sich das elektrische Licht als eine sehr schwache Lichtquelle für die Assimilationszwecke der Pflanze, verglichen mit dem diffusen Tageslichte eines schönen sonnigen Sommertages, geschweige mit dem Lichte, welches die direkte Sonnenbestrahlung liefert. Immerhin möchte ich nach den im September ausgeführten Versuchen mit den Freilandbuchen bezweifeln, ob für alle Pflanzen, selbst unter den günstigsten Beleuchtungsverhältnissen, die Assimilationswerte so hoch ausfallen, wie sie für Helianthus von Sachs angegeben werden. Bei eingehenden entsprechenden Untersuchungen werden sich gewiß bedeutende individuelle und spezifische Unterschiede zeigen.

Der geringe Effekt, welchen die doch starke Beleuchtung des Scheinwerfers hervorrief, legte den Gedanken nahe zu prüfen, ob nicht vielleicht auch mit Gaslicht, das bei Anwendung von Glühstrümpfen ja gleichfalls eine hohe Leuchtkraft entwickelt, ausreichend ansehnliche Resultate zu erzielen sein möchten. Zunächst habe ich einen Versuch mit einer Fichte einerseits mit dem Scheinwerfer, andererseits mit einer Gaslampe mit Glühstrumpf und Reflektor ausgeführt. Die Lampe wurde unmittelbar hinter die Cuvette gestellt, um eine möglichst intensive Beleuchtung zu erzielen. Jeder Versuch dauerte drei Stunden. Bei Anwendung des Scheinwerfers wurden 86 mg, bei Anwendung der Gaslampe 38 mg CO_2 in der Stunde bei gleichem Gehalt der Luft an Kohlensäure assimiliert. Diese eine Gaslampe war also etwas weniger als halb so wirksam wie das elektrische Licht des Scheinwerfers. Eine Vermehrung der Lampen oder eine zweckmäßige Kombination der mit Glühstrümpfen ausgerüsteten Brenner mußte Werte liefern, welche für assimilatorische Zwecke dem elektrischen Licht gar nicht oder nur unerheblich nachstehen. Mir steht noch ein vergleichender Versuch mit Aralia japonica für den Scheinwerfer und zwei Gasglühlampen zur Verfügung. Auch hier war hinter jeder Lampe ein Reflektor angebracht. Im elektrischen Lichte wurden in einem fünfstündigen Versuch stündlich 116 mg CO_2 und im Gaslicht in einem sechsstündigen Versuch stündlich 95 mg CO_2 verarbeitet. Das elektrische Licht hatte hiernach ein Plus von 22 % geliefert. Bei dieser Gelegenheit mag darauf hingewiesen werden, daß die Aralia durch ihre hohe assimilatorische Leistung an sich ein gutes Objekt für Assimilationsversuche bei künstlicher Beleuchtung ist. Bei so hohen Werten, wie sie die Aralia in diesem Versuch aufwies, brauchte man keinen Anstand zu nehmen, die Versuche mit dem Gaslicht auszuführen. Weitere vergleichende Versuche habe ich nicht ausgeführt, aber ich habe eine große Reihe von Versuchen mit dem Gaslicht angestellt und war dabei bestrebt, die Lichtmenge noch zu vermehren, teils durch Beifügung eines dritten Brenners, teils durch Ersatz

der gewöhnlichen Strümpfe durch Starkglühbrenner, welche eine Lichtstärke von 200 Kerzen entwickeln sollen. Wenn es mir trotzdem nicht gelungen ist, durch diese Kombinationen die gewünschte Steigerung der Beleuchtung zu erzielen, so liegt das daran, daß ich die Lampen nicht zweckmäßig genug verbinden konnte und es mir namentlich an passenden Reflektoren fehlte. Es ist mir aber nicht im mindesten zweifelhaft, daß es möglich sein muß, besonders bei Verwendung geeigneter Reflektoren Gasglühlampen herzustellen, welche den Leistungen des Scheinwerfers wenigstens hinsichtlich der Wirkung auf die Assimilation gleichkommen. Die große Empfindlichkeit der Strümpfe und der Umstand, daß ihre Leuchtkraft mit der Zeit abnimmt, beeinträchtigen allerdings die Verwendbarkeit solcher Lampen. Mit Rücksicht auf die größere Handlichkeit bin ich wieder zum elektrischen Lichte zurückgekehrt, nachdem ich einige Zeit mit Gaslicht experimentiert hatte, namentlich als es mir doch noch gelang, die Bogenlampen des Instituts meinen Zwecken dienstbar zu machen.

Die beiden Lampen hingen im Dunkelzimmer nebeneinander an der Decke und waren in vertikaler und horizontaler Richtung verschiebbar. Die Hauptschwierigkeit, das Licht solcher Lampen zu verwenden, liegt darin, daß sie die Hauptmasse des Lichtes nach unten werfen. Es galt also einen Reflektor herzustellen, welcher sämtliches Licht konzentrierte und seitlich auf den Assimilationsapparat warf. Dies gelang mit einem kastenförmigen oben und vorne offenen Blechschirm, der innen weiß angestrichen war. Die Seitenwände waren gerade, die Rückwand und untere Fläche so gekrümmt, daß alles Licht auf die Glocke des Apparates geworfen wurde. Die beiden Bogenlampen waren, natürlich immer ohne Glocken, nebeneinander geschaltet, an ihnen wurde der kastenförmige Reflektor, der die Breite der beiden Lampen hatte, mit Drähten befestigt. Zur Kühlung ging das Licht, ehe es den Apparat traf, durch eine Cuvette mit fließendem Wasser, welche die offene Vorderseite des Reflektors einnahm. In der Abbildung 4 ist die Cuvette (F) unmittelbar hinter der Glocke (C) sichtbar. Das Rohr 17 steht mit der Wasserleitung in Verbindung und taucht bis auf den Grund der Cuvette. Durch das Rohr 18 fließt das Wasser oberflächlich aus der Cuvette ab in den Trichter bei 19. Durch den mit ihm verbundenen Kautschukschlauch wird das Wasser in den Ausguß der Wasserleitung zurückgeleitet. Das Wasser zirkuliert hier, ohne störende Luftblasen an den Wandungen der Cuvette abzusetzen und ruft eine befriedigende Kühlung des Lichtes hervor. Die mit der Pflanze beschickte Glocke steht unmittelbar hinter der Cuvette, wie unsere Abbildung veranschaulicht. Diese Einrichtung zeichnet sich durch außerordentliche Handlichkeit aus. Auf der dem Lichte abgewandten Seite der Glocke wurde hinter dieselbe ein mit weißem Papier beklebter Schirm gestellt, um das durch die Glocke

gehende Licht zurückzuwerfen. War die Lichtfülle, welche die Pflanze traf, auch nicht so bedeutend wie beim Scheinwerfer, sie mochte etwa wie aus dem oben angeführten Versuch hervorgeht, um 20 % geringer sein, so hatte sie den Vorteil, daß die Erwärmung der Pflanze und des Zimmers erheblich geringer war. Die Erwärmung der Pflanze über die Umgebung betrug bei der Bestrahlung nur 3—5 ° C. Bei dieser Einrichtung ist es deshalb schon eher möglich, mit annähernd konstanten Temperaturen zu arbeiten. Mit dieser so hergerichteten Lichtquelle habe ich einen großen Teil der Versuche ausgeführt.

Da ich entscheiden wollte, ob unter der Einwirkung eines sauren Gases die Assimilation zum Stillstand kommt oder herabgedrückt wird, mußte für jedes einzelne Exemplar erst die normale Assimilation, dann die Assimilation unter Einwirkung der Säure und zum Schluß wieder die normale Assimilation ermittelt werden. Nur wenn eher oder später die normale oder annähernd die normale Assimilation wieder eintrat, war man sicher, daß die Pflanze durch die Säure keine Beschädigung erlitten, und daß tatsächlich eine Assimilationsverminderung durch Beeinflussung der Chloroplasten stattgefunden hatte. Anfänglich habe ich die Versuche so ausgeführt, daß alle drei Teilversuche an einem Tage ausgeführt wurden; dann betrug jedesmal die Dauer der einzelnen Versuche nur 2—3 Stunden. Da aber die weiteren Versuche lehrten, daß die Wirkung der Säure nicht sogleich zur Geltung kommt, sondern sich erst allmählich geltend macht, und da auch Nachwirkungen im Spiel zu sein schienen, habe ich es später meistenteils vorgezogen, die einzelnen Versuche längere Zeit währen zu lassen. Die meisten Versuche sind derartig ausgeführt worden, daß jeder Teilversuch einen ganzen Tag in Anspruch nahm. In anderen wurde am Vormittag des ersten Tages ein normaler, am Nachmittag desselben Tages ein Säureversuch und am Vormittag des folgenden Tages wiederum ein normaler Versuch ausgeführt. Da so zwischen dem Säureversuch und dem zweiten normalen Versuch eine ganze Nacht lag, konnte eben so gut wie in den Versuchen, wo jeder Teilversuch einen Tag in Anspruch nahm, erwartet werden, daß eine Nachwirkung der Säure nicht mehr bemerkbar war.

Die sorgfältige Ausführung der Versuche ist noch von einigen Umständen abhängig. Sollte der Assimilationsversuch eine bestimmte Zahl von Stunden dauern, so wurde nach Ablauf dieser Zeit die Sodalösung abgestellt und das Licht ausgelöscht, damit war aber noch nicht alle Kohlensäure, welche der zugegebenen Sodalösung entstammte, von den Vorlagen aufgefangen. Es dauert längere Zeit, bis alle Kohlensäure aus dem Apparat entfernt ist. In den ersten Versuchen hatte sich das nicht störend bemerkbar gemacht; da sich aber bald ergab, daß hier eine be-

deutende Fehlerquelle liegen konnte, wurde in den späteren Versuchen ein bis zwei Stunden lang nach dem Aufhören der Assimilation kohlensäurefreie Luft durch den Apparat gesogen. Die so ausgetriebene Kohlensäure wurde von denselben Vorlagen, welche zu dem Assimilationsversuch benutzt worden waren, aufgenommen.

Noch in einem anderen Punkte mußte man Vorsicht walten lassen. Es stellte sich bald heraus, daß man auch bei Beginn eines Versuches erst einmal kohlensäurefreie Luft längere Zeit durch den Apparat streichen lassen mußte, ehe man die Kohlensäure auffing, da eine Pflanze, welche ruhig gestanden hatte, mehr Kohlensäure in der ersten Stunde abgab, als ihrer Atmung in diesem Zeitraume entsprach. Nimmt man eine Pflanze frisch aus dem Freien, gleichgültig, ob am Abend oder Morgen, und bestimmt die Kohlensäure, welche sie bei unseren Versuchsbedingungen natürlich im Dunkeln in der ersten Stunde abgibt, so übertrifft dies Quantum meistens recht bedeutend die im Atmungsvorgang ausgeschiedene Kohlensäuremenge. Augenscheinlich ist in den Interzellularen Kohlensäure vorhanden, welche nun ins Freie tritt. Aus demselben Grunde muß man bei Beendigung des Assimilationsprozesses längere Zeit Luft durch den Apparat durchsaugen, wie oben bereits hervorgehoben wurde, um die Kohlensäure, welche inzwischen in die Interzellularen eingedrungen war, wieder zu entfernen. In allen Versuchen wurde vor Beginn längere Zeit Luft durchgesogen; dauerte der Versuch mehrere Tage, so wurde das an jedem Morgen wiederholt, wenn nicht, wie es in einzelnen Versuchen geschehen ist, die Pumpe Tag und Nacht in Bewegung war.

Selbstverständlich ist es nötig, um die Assimilationsgröße genau zu bestimmen, die Atmungsgröße der betreffenden Pflanze in Rechnung zu stellen.

Atmung. Von der allgemeinen Annahme ausgehend, daß die Atmung eine konstante Größe sei, beabsichtigte ich, für jede Versuchspflanze die Atmungsgröße in einem besonderen Versuch zu ermitteln. Da die Wirkung der sauren Gase auf die Atmung ebenso unbekannt war wie die auf die Assimilation, mußte geprüft werden, ob und eventuell in welcher Weise die Atmung durch die Säure beeinflußt wird. Hierbei stellte sich heraus, daß die Atmung überhaupt bei konstanten Temperaturverhältnissen nicht so konstant ist, wie gewöhnlich angenommen wird, sondern daß sie ganz unregelmäßig, vielleicht sogar periodisch verläuft. Ich habe diese Verhältnisse für die Buche, Eiche, Fichte und den Ahorn etwas näher untersucht. Die Atmung wurde in dem für die Assimilationsversuche beschriebenen Apparat ermittelt. Auch wurde in derselben Weise operiert, nur daß der durchgesogenen Luft keine Kohlensäure zugesetzt wurde. Die ausgeatmete Kohlensäure wurde von der Barytlösung in der Vorlage absorbiert.

Bei stündlichem Wechsel war meistens eine ausreichend. Als Versuchspflanzen wurden Topfpflanzen verwendet.

Die Temperatur wurde möglichst konstant gehalten. Beim Ahorn schwankte sie während des ganzen Versuches zwischen 23 und 25° C, bei der Buche zwischen 21 und 24° C, doch verharrte sie in beiden Fällen längere Zeit auf demselben Grade. Sie schwankte bei der Eiche 1 zwischen 21,5 und 25° C und bei der Eiche 2 zwischen 23 und 26° C, doch herrschte in beiden Fällen während des größeren Teils der Versuchsdauer 25° C. Bei der Fichte schwankte die Temperatur nur zwischen 24,5 und 25,5° C. Daß etwa die Unregelmäßigkeiten in der Atmung auf Temperaturschwankungen zurückzuführen wären, ist ausgeschlossen, da die Unregelmäßigkeiten zu bedeutend sind und auch in keiner Weise mit den Temperaturschwankungen zusammenfallen.

Viel eher könnte man an eine Beziehung zwischen Atmung und Wasseraufnahme denken, denn wenn auch nach Bedarf begossen wurde, so können doch bei Topfpflanzen immerhin Schwankungen in der Wasseraufnahme stattfinden, obgleich die Wasserabgabe, falls sie nicht durch die Wasseraufnahme beeinflußt wurde, konstant war, da ununterbrochen während des Versuches die Luft mit gleicher Geschwindigkeit durch den Apparat strich. Da mir keine Wasserkulturen zur Verfügung standen, konnte ich nicht feststellen, ob die Unregelmäßigkeiten in der Atmung etwa mit der Wasseraufnahme zusammenhängen können; nach der Art aber, wie die Unregelmäßigkeiten auftraten, zu urteilen, scheint es mir nicht sehr wahrscheinlich. Meines Erachtens nach handelt es sich um ein Schwanken in der Atmungsgröße aus inneren Ursachen, und zwar verläuft dies Schwanken periodisch, wenn es auch nicht überall mit voller Schärfe hervortritt.

Buche. Für das Exemplar 1 wurde für 48 Stunden mit fast ausschließlich stündlichen Bestimmungen die Atmung ermittelt. Die ermittelten Werte sind in Tabelle 1 A zusammengestellt. Die mit diesen Zahlen konstruierte Kurve I auf Tafel 1 zeigt einen zickzackförmigen Verlauf, wie er ja auch für andere periodisch verlaufende Erscheinungen charakteristisch ist, und zwei Maxima, während die Minima nicht so charakteristisch sind, vielleicht deshalb, weil es notwendig wurde, einige Male die Atmungsgröße für mehrere Stunden zusammen zu bestimmen. Das erste Maximum fällt etwa zwischen 7 und 8 Uhr abends, das zweite etwa um 11 Uhr nachts, es würde also eine Verschiebung stattgefunden haben, was auch bei anderen periodisch verlaufenden Erscheinungen auftritt. Das zweite Maximum ist auch kleiner als das erste, was nicht überraschen kann, da die Atmung mit der Zeit geringer werden muß. Auch das zweite Minimum liegt dementsprechend etwas tiefer als das erste; man geht wohl nicht fehl, wenn man es an beiden Tagen ungefähr auf die Mittagsstunde verlegt.

Noch für einige Buchen mehr habe ich die Atmung für einen längeren Zeitraum verfolgt. Auf Tafel 1 führe ich die Atmungskurven II und III für die Exemplare 2 u. 3 an. In beiden Fällen wurde es notwendig, wenigstens für die Nachtstunden die Atmung gemeinsam zu bestimmen. Das Exemplar 2 läßt ein sehr großes Maximum am dritten Abend um 6 Uhr erkennen. Das erste Maximum darf auch vielleicht um 6 Uhr abends vermutet werden, da der Versuch aber erst um 7 Uhr begann, ist es nicht beobachtet worden. Das mittlere Maximum mußte dann auch etwa um 6 Uhr liegen, tritt aber sehr wenig hervor. Die Minima wird man berechtigt sein, am Vormittag zu suchen, etwa um 9 Uhr. Im großen und ganzen würde die Kurve übereinstimmenden Verlauf mit der der Buche 1 aufweisen. Überraschend ist das bedeutende Maximum am dritten Abend und die abnorm hohe Atmung in der folgenden Nacht, so weit sie verfolgt wurde. Auf diese Erscheinung wird weiter unten eingegangen werden.

Bei der Kurve des Exemplars 3 wurde diese Erscheinung ebenso wenig wie bei der des Exemplars 1 beobachtet, möglicherweise sind die Versuche nicht lange genug ausgedehnt worden. An beiden Tagen liegt das Maximum zwischen 5 und 7 Uhr abends. Das Minimum werden wir 12 Stunden später erwarten dürfen; genau ist es nicht zu ermitteln, weil während der Nachtstunden keine stündlichen Bestimmungen ausgeführt worden sind.

Eiche. In Tabelle 1 A teile ich die Werte für die Atmung aus zwei längeren Versuchen mit. Die dazu gehörigen Kurven IV und V finden sich auf Tafel 1. Beide Kurven veranschaulichen gleich schön den unregelmäßigen Verlauf der Atmung, doch ist es schwierig, wenn nicht unmöglich, über die Lage der Maxima und Minima ins Reine zu kommen. Nach dem ersten Teil der Kurve IV wird man vermuten, daß das Maximum auf die zeitigen Nachmittagsstunden, das Minimum auf die Morgenstunden fällt. Aber durch das gewaltige Maximum am zweiten Tage zwischen 3 und 4 Uhr vormittags kommt in die ganze Kurve eine Störung hinein. Bei dem Exemplar 2, Kurve V, scheint das Maximum auf 10 Uhr abends zu fallen, das Minimum ungefähr 12 Stunden später. Am Schluß der Kurve ist die Periodizität schon stark verwischt. Sehr ausgeprägt ist weder Maximum noch Minimum; das zweite Maximum hat einen bedeutend höheren Wert als das erste.

Ahorn. Mit Acer pseudo-platanus habe ich einen Atmungsversuch längere Zeit durchgeführt. Die stündlichen Werte sind in Tabelle 1 A mitgeteilt. Die Kurve VI (Tafel 1) veranschaulicht deutlich den unregelmäßigen Verlauf der Atmung, stellenweise kann sie stundenlang gleich sein, etwa wie von 2—8 Uhr vorm. am 17. September. Auffällig ist,

daß etwa von 6 Uhr am zweiten Tage ab die Atmung durchgehends bedeutender ist, als am vorhergehenden Tage. Die Kurve macht den Eindruck, als ob innerhalb 24 Stunden zwei Maxima und zwei Minima vorhanden wären, und zwar würde das Maximum kurz vor, das Minimum kurz nach Mittag und Mitternacht liegen. Mit dem Anwachsen der Atmung wird die ganze Kurve unregelmäßig.

Fichte. Mit der Fichte habe ich einen längeren Atmungsversuch gemacht, für den die Werte in Tab. 1 A mitgeteilt sind. Die Kurve VII, welche auf Tafel 1 wiedergegeben ist, läßt gleichfalls wieder die Unregelmäßigkeit in der Atmung erkennen, beträgt doch die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Atmungswert 25 mg. Es macht sich aber eine Neigung zum geradlinigen Verlauf der Kurve bemerkbar. Das Minimum liegt in den Abendstunden oder kurz vor Mitternacht, das erste Maximum etwa um 8 Uhr morgens, während das zweite und dritte Maximum infolge der Tendenz der Kurve zum geradlinigen Verlauf nicht mehr scharf hervortritt.

Die im vorstehenden mitgeteilten Atmungskurven lassen meines Erachtens keine andere Deutung zu, als daß die Atmung ein periodisch verlaufender Vorgang ist, wenn in den einzelnen Fällen auch die Maxima und Minima ausgeprägter sein könnten. Daß die Temperatur die Unregelmäßigkeiten in der Atmung hervorruft, ist nach dem Gesagten ausgeschlossen. Wenn ich nun auch nicht ganz die Einwirkung des gelegentlichen Begießens des Topfes auf die Atmung leugnen will, so scheint es mir doch ausgeschlossen, daß sowohl der zickzackförmige Verlauf der Kurve, als auch die bedeutenden Maxima auf diesen Umstand zurückgeführt werden könnten. Viel eher könnte man daran denken, daß sich ein solcher Einfluß an den Stellen geltend macht, wo die Periodizität nicht mit genügender Schärfe hervortritt. Gegen einen Zusammenhang der Erscheinung mit der Wasseraufnahme spricht auch, daß z. B. bei der Buche das Maximum in die Abendstunden, das Minimum in die Morgenstunden fällt, wenn auch bei den einzelnen Exemplaren kleine Verschiebungen vorkommen. Sieht man von der Fichte ab, so fällt auch bei den anderen Bäumen das Maximum und Minimum ungefähr auf dieselben Tagesabschnitte wie bei der Buche. Bei der Fichte sind Maximum und Minimum vertauscht.

Will man diese Periodizität mit anderen Funktionen in Verbindung bringen, so scheint es mir aussichtsvoller zu sein, sie mit periodisch verlaufenden Funktionen in Verbindung zu bringen, und da wäre zunächst einmal an die Beziehung der Atmung zur Assimilation und zur Ableitung der Assimilation aus den Blättern zu denken. Für die Assimilation besteht eine Periodizität, da sie vom Lichte abhängig ist, eine

ähnliche, aber umgekehrte Periodizität ist aller Wahrscheinlichkeit nach auch für die Ableitung der Assimilate aus den Blättern vorhanden, worauf ich in einem späteren Abschnitt noch zurückkommen werde. Sachs nahm an, daß während der Assimilation die Assimilate ebenso ausgiebig wie in der Nacht abgeleitet würden, wo keine Assimilation statt hat. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß diese Ansicht nicht zutrifft, daß auch die Ableitung periodisch verläuft, wenigstens spricht zugunsten dieser Auffassung die Tatsache, daß die Menge der Diastase Schwankungen unterliegt, daß ihre Bildung auch periodisch verläuft. Man könnte sich wohl vorstellen, daß mit der gesteigerten Zufuhr von Atmungsmaterial auch eine Steigerung der Atmung selbst statthätte, und daß sich aus diesem periodischen Wechsel der Verhältnisse eine Periodizität der Atmung herausgebildet hätte, welche auch dann, wie in unseren 48 und mehr Stunden dauernden Versuchen, hervortritt, wenn der normale Wechsel in der Zufuhr von Atmungsmaterial unterbleibt.

Es ist schon mehrfach der Gedanke ausgesprochen und zum Teil durch entsprechende Versuche zu erweisen versucht worden, daß die Atmung periodisch verläuft. So hat Saikewicz[1]) nachgewiesen, daß bei konstanter Temperatur das Wurzelsystem des Cinquantino Mais eine deutliche tägliche Periodizität aufweist. Am Tage ist die Atmung größer, in der Nacht geringer. Das Maximum der Atmungsenergie tritt gewöhnlich nach Mittag, das Minimum nach Mitternacht ein. Mir ist diese Arbeit nur aus dem Referat im Bot. Jahresbericht bekannt, woselbst keine Zahlen angegeben sind, und so kann ich nicht beurteilen, ob diese Versuche vielleicht Einwände zulassen. Nach dem Referat hat man keine Veranlassung, das anzunehmen. Für oberirdische Pflanzenteile hat Borodin[2]) gezeigt, daß eine Periodizität besteht. Aber da ich auch diese Arbeit nicht in extenso, sondern nur aus dem Referat kenne, dies aber gewisse Unklarheiten enthält, so bleibt es mir zweifelhaft, inwieweit Borodin nur eine Periodizität annimmt, welche von der Menge des Atmungsmateriales abhängt, oder ob seine Versuche ihm gleichfalls eine Atmungskurve gegeben haben, welche auf innere Ursachen zurückgeführt werden muß. Denn darauf laufen ja die Ergebnisse meiner Versuche hinaus, daß eine innere Periodizität vorhanden ist, welche in quantitativer Hinsicht von dem zugeführten Atmungsmaterial abhängig sein kann. Ob alle Pflanzen eine solche Periodizität in der Atmung aufweisen, müssen weitere Versuche entscheiden. Möglicherweise verhalten sich die Pflanzen ungleich. Aereboe

[1]) Physiologische Untersuchung über die Atmung der Wurzeln. Arbeiten der Naturforschergesellschaft an der Universität zu Charkoff. Bd. XI, 1877 (Russicch). Ref. Bot. Jahresbericht 1877, p. 722.

[2]) Bot. Jahresber. 1876, p. 920.

hat ebenfalls geprüft, ob normaler Weise bei den Pflanzen eine Periodizität der Atmung auftritt. Wie Saikewicz hat er Mais als Untersuchungsobjekt verwendet. Er hat mit zwei älteren Exemplaren experimentiert, von denen das eine von $9^1/_2$—$3^1/_2$ Uhr direktem Sonnenlicht ausgesetzt, das andere vor Beginn des Versuches vier Tage im Halbdunkel gehalten wurde. Das Wurzelsystem befand sich auch hier in Wasserkultur, um eine Durchsaugung zu ermöglichen. Die durchgesogene Luft wurde durch Barytlösung geleitet, um die CO_2 aufzufangen. Im ersten Versuche war die absolute Atmungshöhe weit beträchtlicher als im zweiten, von einer Periodizität der Atmung des Wurzelsystems aber nichts zu spüren; im zweiten Versuche war eine Periodizität zu beobachten. Leider ist der Versuch nicht weiter verfolgt worden, sodaß es nicht ersichtlich ist, ob ein zweites Minimum auftritt, was notwendig gewesen wäre zur Entscheidung der Frage, ob hier in der Tat eine Periodizität vorliegt. Für den zweiten Versuch nimmt der Verfasser eine durch das Licht induzierte tägliche Periodizität der Wurzelatmung an. Drittens wurde noch eine Maispflanze, welche von vorne herein als Wasserkultur gezogen worden war, untersucht. Sie erhielt während der Mittagszeit direktes Sonnenlicht. Die Atmungsgrößen des Wurzelsystems sind nur gering, sie schwanken zwischen 10,6 und 7,6 mg CO_2 für den Zeitraum von zwei Stunden. Eine Periodizität läßt diese Pflanze bei der Wurzelatmung nicht erkennen, die Atmungsgröße nimmt allmählich ab.

Das eventuelle Vorhandensein einer inneren Periodizität hat Verfasser noch an oberirdischen Pflanzenteilen zu prüfen gesucht und zwar in je einem Versuch mit beblätterten Zweigen von Abies excelsa und Syringa vulgaris, ohne daß es ihm bei einer Versuchsdauer von 32 resp. 26 Stunden gelungen wäre, ein periodisches Auf- und Abschwanken der Atmungsgröße festzustellen. »Aus diesen Experimenten mit Sprossen von Abies und Syringa ergibt sich, daß eine durch periodischen Wechsel des Stoffwechsels herbeigeführte Atmungsperiode nicht existiert“ [1]).

Nach meinen eigenen oben mitgeteilten Erfahrungen über die Periodizität der oberirdischen Teile von Holzgewächsen darf wohl behauptet werden, daß die von Aereboe angestellten Versuche durchaus nicht ausreichend sind, eine so wichtige Frage wie die Atmungsperiodizität zu entscheiden. Es wird überhaupt noch umfangreicherer Untersuchungen bedürfen, ehe dieser Punkt ausreichend aufgehellt ist. Gibt es keine innere Periodizität, so müssen sich alle die Erscheinungen, welche auf eine solche hinweisen, anders erklären.

[1]) Untersuchungen über den direkten und indirekten Einfluß des Lichtes auf die Atmung der Gewächse. — Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. 16, 1893.

Daß meine Atmungskurven allerlei Zacken aufweisen, kann nicht überraschen, da das gleiche auch bei anderen periodischen Erscheinungen beobachtet wird. Vermutlich sind sie durch andere den Atmungsprozeß beeinflussende Faktoren bedingt. Sehr stark sind diese Zickzackbewegungen der Kurve bei der Eiche.

Hält man die Pflanzen länger, als normal ist, verdunkelt, so darf man erwarten, daß die ausgeatmete Kohlensäuremenge immer geringer wird, da durch die Ableitung das Atmungsmaterial aus den Blättern verschwindet, während eine Zufuhr ausbleibt. Selbstverständlich muß auch dann, wenn die absolute Atmungsgröße sinkt, der periodische Verlauf der Atmung hervortreten. Sehr deutlich ist das bei Buche 1 und 3, wo das zweite Maximum niedriger ist als das erste. Dasselbe beobachtet man im ersten Teil der Kurve von Buche 2, Fichte und Eiche 1. Überraschender Weise zeigen nun verschiedene Kurven nach dem Herabgehen der Atmung wieder eine Steigerung und zum Teil eine außerordentliche Steigerung der Atmung, wie z. B. bei der Buche 2. Sehr deutlich tritt diese Steigerung auch hervor bei Ahorn, bei Eiche 1, vielleicht auch bei Eiche 2, und selbst bei der Fichte ist sie erkennbar. Es handelt sich um eine Atmungssteigerung, auf welche nach einiger Zeit wiederum eine Abnahme folgt, wie aus dem Verlauf der Kurven für die Fichte und die beiden Eichen hervorgeht. Wenn bei der Buche 2 und dem Ahorn dieser Abfall nicht wahrzunehmen ist, so dürfte das daher rühren, daß die Versuche nicht lange genug fortgesetzt worden sind. Diese Atmungssteigerung verläuft auch periodisch, wie ein Blick auf die Kurven ergibt, wenn auch vielleicht eine Verschiebung der Maxima und Minima eintritt. Bei Buche 2 dürfen wir aber annehmen, daß das Minimum auf den selben Termin fällt, wie die normalen Minima. Es scheint aber absolut größer zu sein, als diese. Wann bei den einzelnen Pflanzen die Atmungssteigerung eingesetzt hat, ist mit Genauigkeit nicht zu sagen, jedenfalls kann sie eher oder später eintreten, je nach Individuum und Art.

Es wird wohl nicht auf Widerspruch stoßen, wenn diese Atmungssteigerung als pathologisch bezeichnet wird, denn da die Versuche mit Buche, Eiche, Fichte und mit Ahorn zu einer Zeit ausgeführt wurden, wo gar kein Wachstum der Anhangsorgane oder höchstens, wie bei Ahorn, ein sehr schwaches stattfand, so kann diese Atmungssteigerung nicht etwa mit einem gesteigerten Wachstum in Zusammenhang gebracht werden. Da bei anhaltender Verdunklung viele Pflanzen die Blätter fallen lassen, so müssen sich in ihnen Prozesse abspielen, welche normaler Weise, wenn sie den Genuß des Lichtes haben, nicht eintreten. Nun haben unsere Versuchspflanzen freilich nicht ihre Blätter fallen lassen, auch keine Vergilbung derselben gezeigt, aber man wird wohl annehmen dürfen, daß sich trotz-

dem auch in diesen Blättern schon pathologische Vorgänge abspielen, wenn sie auch nicht zu einer äußerlich sichtbaren Benachteiligung der Blätter führen. Man könnte daran denken, daß bei diesen Vorgängen Stoffe entstehen, auf welche als Reiz das Plasma mit einer Atmungssteigerung antwortet. Daß durch stoffliche Reize eine Atmungssteigerung hervorgerufen werden kann, geht aus den Untersuchungen von Elfving[1]), Laurén[1]) und Jacobi[2]) hervor. Die beiden ersteren Forscher fanden eine Atmungssteigerung bei Ätherisieren und Chloroformieren. Nach Jacobi kann die Atmung submerser Wasserpflanzen durch salzsaures Chinin, durch Antipyrin, durch Jod und Schilddrüse derartig beeinflußt werden, daß sie vorübergehend eine sehr beträchtliche Steigerung erleidet. Es würde also nichts im Wege stehen, auch in unserem Fall das Auftreten von Stoffen anzunehmen, welche die Atmungssteigerung hervorrufen. Weiteren Untersuchungen muß es vorbehalten bleiben, entweder die Natur dieser Stoffe oder eine andere Ursache aufzudecken.

Diese pathologische Atmungssteigerung kam für meine Assimilationsversuche nicht in Betracht, da in der Regel zwischen Beleuchtung und Dunkelheit der normale Wechsel stattfand, wohl aber der periodische Verlauf der normalen Atmung. Dieser periodische Charakter ist es denn auch gewesen, welcher mich bestimmt hat, die meisten Assimilationsversuche so anzustellen, daß jeder Teilversuch auf einen Tag fiel. So konnte erwartet werden, daß die Periodizität täglich in derselben Weise wiederkehrte, und daß das Resultat durch dieselbe nicht fehlerhaft beeinflußt wurde. Bei Beginn der Versuche war es meine Absicht gewesen, indem ich voraussetzte, daß die Atmung bei konstanter Temperatur eine konstante Größe sei, für jedes Versuchsexemplar die Atmung während einiger Stunden zu bestimmen und den gefundenen Wert als Atmungsgröße während des ganzen Versuches zu verwenden. Die Periodizität schloß diesen Weg aus; es mußte ein anderer Modus gefunden werden. Mein nächster Gedanke war, einen Tag lang einen Atmungsversuch anzustellen, für jede Stunde die Atmungsgröße zu ermitteln und diese Werte bei der Assimilation in Anrechnung zu bringen. Das Bedenken aber, daß die Werte anders ausfallen könnten, als wenn die Atmung durch die Assimilation beeinflußt würde, hat mich obendrein, in Hinblick auf die große damit verbundene Arbeit, davon abgehalten. Schließlich habe ich folgenden Weg eingeschlagen. Ich bestimmte die Atmung eine Stunde lang vor Beginn der Assimilation und eine Stunde nach beendeter Assi-

---

[1]) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl. I, 1897, p. 575.

[2]) Über den Einfluß verschiedener Substanzen auf die Atmung und Assimilation submerser Pflanzen. Flora 1899.

milation. Aus diesen beiden Werten habe ich das Mittel genommen und als stündliche Atmungsgröße in Rechnung gestellt. Ich hielt mich zu diesem Verfahren für berechtigt, weil vielfach die Kurven Neigung zeigten, horizontal zu werden, und weil, wenn die Teilversuche einen Tag umfaßten, täglich derselbe Fehler gemacht und damit ausgeschaltet wurde. Schließlich habe ich den Erfolg über dies Verfahren entscheiden lassen. In manchen Fällen haben die Versuchsergebnisse so genau gestimmt, daß die normale Assimilation am ersten und dritten Versuchstage auf die Stunde berechnet, ganz gleich groß war. Es ist aber nicht zu verkennen, daß durch die von mir befolgte Berechnungsweise der Atmung Unterschiede in der Assimilationsgröße herbeigeführt werden können. Will man ganz sicher gehen, daß eine Assimilationsverminderung unter der Einwirkung der Säure auf diese und nicht auf die Atmungsberechnung zurückzuführen ist, so muß der Assimilationsabfall erheblich sein. Ist aber die normale Assimilationsgröße am ersten und dritten Tage gleich, so darf man schon einen kleinen Abfall am Säuretage als Wirkung der Säure betrachten.

Einwirkung der Säure auf die Atmung. Bevor mit den Assimilationsversuchen begonnen werden konnte, mußte noch festgestellt werden, ob nicht die Atmung unter der Einwirkung der Säure eine Steigerung erführe. Eine Atmungssteigerung konnte eine Assimilationsverminderung ausgleichen und falsche Ergebnisse liefern. Die Entscheidung der Frage wird durch den periodischen Charakter der Atmung sehr erschwert. Ich habe nun zwei Verfahren eingeschlagen. Bei dem einen ermittelte ich an dem einen Tage die normale Atmung, am folgenden die Atmung unter Einwirkung der Säure. Ein gleichsinniger Verlauf der Kurven mit geringeren absoluten Werten am zweiten Tage sprach für eine Wirkungslosigkeit der Säure. Nach dem anderen Verfahren ließ ich an demselben Tage Atmung mit und ohne Säure miteinander abwechseln. Aus dem Unterschied in den absoluten Werten und eventuell aus dem Vergleich mit der normalen Atmungskurve der betreffenden Pflanzenart läßt sich dann feststellen, ob die Atmung durch die Säure beeinflußt wird.

1. Ein Zweig von Prunus Laurocerasus wurde vom 11. bis 14. Dezember auf die Atmung untersucht. Am ersten Tage wurde nur die normale Atmung ermittelt, an den folgenden drei Tagen wechselten normale Atmung und Säureatmung miteinander ab. In Tabelle 1 B sind die ermittelten Werte mitgeteilt und auf Tafel 1 findet sich die aus denselben konstruierte Kurve VIII. Die ausgezogenen Teile der Kurve entsprechen hier wie bei IX und X der normalen, die punktierten Teile der Säureatmung. Zur Zeit der Säurewirkung ist immer eine Atmungssteigerung wenigstens vorübergehend vorhanden; da diese aber auch am ersten Tage bei aus-

schließlicher normaler Atmung etwa um dieselbe Zeit auftritt, handelt es sich um eine Steigerung aus inneren Ursachen. Übrigens hält diese Atmungssteigerung durchaus nicht an, und während der Säurewirkung sinkt die Atmung zum Teil unter die Werte für die normale Atmung. Bei den angewandten Konzentrationen, welche zwischen 1 : 9000 und 1 : 56000 lagen, findet demnach keine Beeinflussung der Atmung durch die Säure bei Prunus statt. Bei noch stärkerer Verdünnung wird man demnach erst recht keine Einwirkung erwarten dürfen.

2. Versuche mit Topfexemplaren der Buche. Mit der Buche habe ich mehrere Versuche ausgeführt, ohne daß es mir gelungen wäre, eine Beeinflussung der Atmung durch die Säure festzustellen. Die Kurve IX (Tafel 1) gibt die Atmungsverhältnisse der Buche aus dem Versuch 2 und die Kurve X die der Buche aus dem Versuch 3 graphisch wieder. In Versuch 2 (Tabelle 1 B) wechselten während eines Tages normale und Säureatmung miteinander ab. In Versuch 3 (Tabelle 1 B) war am 18. Juli die normale, am 21. Juli die Säureatmung ermittelt worden. Bei den angewandten Verdünnungen der Säure, welche zwischen 1 : 125000 und 1 : 295000 lagen, konnte keine Atmungssteigerung beobachtet werden.

3. Versuche mit Topfexemplaren der Fichte. Mit dieser Pflanze sind mehrere Versuche angestellt worden, welche keine Einwirkung der Säure auf die Atmung erkennen ließen. Die Versuche 4 und 5 in Tabelle 1 B haben nur einen Tag gedauert; bei Anwendung der Konzentrationen von 1 : 28000 und 1 : 72500 war eine erhebliche Atmungssteigerung nicht zu beobachten. Der Versuch 6 dauerte vier Tage lang; die benutzten Konzentrationen schwankten zwischen 1 : 23000 und 1 : 54000. Atmungssteigerungen, welche der Säure auf die Rechnung gesetzt werden müßten, treten nicht auf, die Schwankungen in der Atmungsgröße bewegen sich innerhalb der für die normale Atmung gezogenen Grenzen. Nur am 14. November zwischen 4 Uhr 45 Min. und 5 Uhr 45 Min. ist die Atmung ungeheuer angewachsen, es kann aber als ausgeschlossen gelten, daß diese Steigerung durch die Säure hervorgerufen worden ist, da dann eine noch bedeutendere Atmungssteigerung bei der Konzentration 1 : 23000 zu erwarten gewesen wäre. Welche Ursache diese Steigerung der Atmung hervorgerufen hat, muß dahingestellt bleiben; es ist nachträglich nicht mehr darüber ins klare zu kommen.

Das Ergebnis unserer Versuche mit der Buche, Fichte und Prunus Laurocerasus, aus denen hervorgeht, daß die Atmung durch die Einwirkung der schwefligen Säure nicht gesteigert wird, darf man wohl mit Recht auf alle Holzgewächse ausdehnen. Bei Anwendung höherer Konzentrationen, als sie in den Versuchen benutzt wurden, und für die Assimilations-

versuche in Aussicht genommen waren, könnte eine Atmungssteigerung auftreten, da es sich aber hierbei um Konzentrationen handeln würde, welche den Tod der betreffenden Blattorgane herbeiführen, so wäre nicht zu entscheiden, ob eine eventuelle Atmungssteigerung nicht durch eine Beschädigung der Organe bedingt wäre. Da die Aufhellung dieser Verhältnisse für meine Zwecke wenig Wert hatte, habe ich sie nicht weiter verfolgt. Auf eine Atmungssteigerung durch die Säure brauchte demnach bei den Assimilationsversuchen nicht Rücksicht genommen zu werden.

Abhängigkeit der Assimilation von Tages- und Jahreszeit. Schon oben wurde darauf hingewiesen, daß die meisten vergleichenden Assimilationsversuche so angestellt wurden, daß jeder einzelne Teilversuch einen Tag beanspruchte, um die Fehler, welche durch die Periodizität der Atmung eingeführt werden könnten, auszuschließen. Die Dauer der Assimilation betrug 4—6 Stunden und jeder Teilversuch wurde während oder annähernd während derselben Stunden ausgeführt. Die Ausdehnung des Assimilationsversuches unter Einwirkung der sauren Gase auf eine größere Zahl von Stunden schien durch den Umstand geboten zu sein, daß die Wirkung der Säure vielleicht längere Zeit bedurfte, um zur vollen Geltung zu kommen, und daß dann eine längere Versuchsdauer umso beträchtlichere Unterschiede in der Assimilationsgröße geben mußte. Aber für die normale Assimilation wäre eine kürzere Zeit vollkommen ausreichend gewesen. Um Zeit und Kosten zu sparen, war ich bemüht, die Gesamtdauer der Versuche zu verkürzen, etwa in der Weise, daß ein normaler und ein Säureversuch an einem Tage ausgeführt wurden. Natürlich war das nur möglich, wenn die Assimilation der Pflanze unter gleichen äußeren Umständen stets gleich groß war. Von vorneherein steht das aber nicht fest. Aus Untersuchungen von Broocks[1]) ist bekannt, daß die Kulturpflanzen draußen auf dem Felde während der verschiedenen Abschnitte des Tages durchaus nicht den gleichen Betrag assimilieren. Nun ist allerdings die benutzte Methode eine derartige, daß keine konstanten Verhältnisse der Vegetationsbedingungen dabei vorausgesetzt waren, sodaß es fraglich bleibt, ob die ungleichen Werte für die verschiedenen Zeitabschnitte ausschließlich von den Schwankungen der Vegetationsfaktoren oder etwa auch von einer inneren Periodizität der Assimilation abhängig sind. Ich habe deshalb geprüft, ob unter konstanten Verhältnissen, namentlich bei Konstanz der Lichtverhältnisse, eine Periodizität der Assimilation existiert. Es ist nicht zu verkennen, daß von vorneherein nicht viel zugunsten einer

[1]) Über tägliche und stündliche Assimilation einiger Kulturpflanzen. Diss. Halle 1892.

solchen Periodizität spricht. Mit Hilfe der Bakterienmethode läßt sich noch in der Abenddämmerung eine Assimilation nachweisen[2]), und die Abkürzung der Vegetationsperiode des Getreides im hohen Norden wird von manchen Forschern auf die lange Dauer des Tages, auf die hellen Nächte zurückgeführt. Wenn man so auch annehmen darf, daß die Fähigkeit zur Assimilation selbst in der Nacht vorhanden ist, so könnte letztere doch, z. B. bei gleicher Beleuchtung, in der Nacht langsamer vonstatten gehen, als am Tage; eine Prüfung der Frage nach der Periodizität der Assimilation schien also unter allen Umständen von Bedeutung zu sein.

Für die Nacht steht mir ein einziger Versuch mit einer Fichte zur Verfügung, der mit einem Nachmittagsversuch verglichen werden konnte.

Am 14. Februar wurde von 3—6 Uhr Nachm. bei einer Konzentration von 0,39 Vol.-% CO_2 in der Luft bei elektrischem Lichte assimiliert, darauf wurde eine Stunde lang im Dunkeln abgesaugt.

Zugegeben	1569 mg CO_2
4 Stunden Atmung .	131 mg CO_2
	1700 mg CO_2
Wieder gefunden . .	1398 mg CO_2
3 Stunden assimiliert.	302 mg CO_2
Pro Stunde assimiliert	101 mg CO_2

Am 16. Februar wurde von 9 Uhr Nachm. bis 1 Uhr Vorm. bei einer Konzentration von 0,48 Vol.-% CO_2 in der Luft bei elektrischem Licht assimiliert; darauf wurde eine Stunde abgesaugt. Temperatur die gleiche wie im vorhergehenden Versuch.

Zugegeben	1934 mg CO_2
5 Stunden Atmung .	104 mg CO_2
	2038 mg CO_2
Wieder gefunden . .	1625 mg CO_2
4 Stunden assimiliert.	413 mg CO_2
Pro Stunde assimiliert	103 mg CO_2

Die Übereinstimmung zwischen den beiden Werten ist sehr zufriedenstellend, namentlich wenn man berücksichtigt, daß der Gehalt an CO_2 im zweiten Falle etwas größer gewesen ist, als im ersten. Übrigens scheinen bei der von mir angewandten Methode kleine Unterschiede in der Kohlensäurekonzentration nicht ins Gewicht zu fallen. Ich lasse jetzt einige Versuche folgen, aus denen hervorgeht, daß die Assimilation zu verschiedenen Abschnitten des Tages gleich groß ist, wenn für konstante Verhältnisse Sorge getragen wird.

[2]) Siehe Literaturangabe bei Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl. 2. Bd. S. 323.

Versuche mit Buche.

	CO_2	Zugegeben	Atmung	Assimilation	Assim. pro Std.
I. 27. August	Vol.-%	mg CO_2	mg CO_2	mg CO_2	mg CO_2
9—12 Uhr	0,1	386	25	75	25
12—3 Uhr	0,06	381	38	97	32
3—6 Uhr	0,09	405	43	94	31
II. 29. August					
9—12 Uhr	0,06	436	25	86	28
1—4 Uhr	0,068	491	45	100	33
5—8 Uhr	0,077	496	39	91	30

Diese beiden Versuche stimmen sehr gut miteinander überein; auch die Zahlen der einzelnen Versuche eines Tages stimmen gleichfalls gut überein. Wenn an beiden Tagen bei den ersten Versuchen der Assimilationswert etwas niedriger ausgefallen ist, als in den folgenden Stunden, so darf nicht unberücksichtigt bleiben, daß der Gehalt an Kohlensäure in der Luft erst allmählich die Höhe des oben angegebenen erlangt. Sonst stimmen die Zahlen sehr gut, und man wird bereits hieraus schließen dürfen, daß eine Periodizität in der Assimilation nicht vorliegt.

Versuch mit Ahorn. Bei einer Konzentration von 0,03 Vol.-% Kohlensäure wurde am 1. Oktober assimiliert:

	Zugegeben	Atmung	Assimilation	Assim. pro Std.
	mg CO_2	mg CO_2	mg CO_2	mg CO_2
10 Uhr V. bis 12 Uhr M.	125	10	37	18
12 Uhr M. „ 1 Uhr N.	132	11	35	17
1 Uhr N. „ 3 Uhr N.	140	16	35	17

Versuch mit Fichte. Bei einer Konzentration von 0,9 Vol.-% CO_2 wurde am 20. März assimiliert:

	Zugegeben	Atmung	Assimilation	Assim. pro Std.
	mg CO_2	mg CO_2	mg CO_2	mg CO_2
10 Uhr 15′ V. bis 12 Uhr 15′ N.	662	163	311	104
2 Uhr 50′ N. bis 5 Uhr 45′ N.	700	129	296	102

Versuch mit Fichte. Bei einer Konzentration von 0,13 resp. 0,15 Vol.-% CO_2 wurde am 25. März assimiliert bei elektrischem Licht:

	Zugegeben	Atmung	Assimilation	Assim. pro Std.
	mg CO_2	mg CO_2	mg CO_2	mg CO_2
10 Uhr 45′ V. bis 12 Uhr 45′ N.	452	110	182	91
3 Uhr 30′ N. bis 5 Uhr 30′ N.	487	86	186	93

Versuch mit Eiche. Bei einer Konzentration von 0,036 resp. 0,038 % CO_2 wurde am 4. Oktober bei elektrischem Lichte assimiliert:

	Zugegeben mg CO_2	Atmung mg CO_2	Assimilation mg CO_2	Assim. pro Std. mg CO_2
9 Uhr 30′ V. bis 12 Uhr 30′ N.	214	76	153	51
12 Uhr 30′ N. bis 4 Uhr N.	261	106	182	52

Diese Beispiele dürften wohl ausreichen, um zu zeigen, daß bei konstanten äußeren Bedingungen, namentlich bei einer Konstanz der Lichtquelle, die Assimilation zu jeder Tageszeit gleich groß ist, daß es also eine innere Assimilationsperiodizität nicht gibt. Die ungleichen Beträge, welche Broocks bei seinen Untersuchungen zu verschiedenen Tageszeiten erhielt, sind also lediglich von dem Wechsel der äußeren Verhältnisse abhängig. Wenn keine Periodizität aus inneren Ursachen vorhanden ist, so müssen die Ergebnisse der Assimilation notwendig zu verschiedenen Tageszeiten ungleich groß ausfallen, da die Intensität der Beleuchtung und der Erwärmung im Laufe eines Tages großen Schwankungen unterliegt.

Der Wechsel in der Intensität der Beleuchtung und Erwärmung zu verschiedenen Stunden des Tages ist die Ursache, daß es ein reiner Zufall ist, wenn man bei Assimilationsversuchen im Freien brauchbare und übereinstimmende Resultate erhält. Ist man vom Zufall begünstigt, so kann man auch im Freien nach derselben Methode nachweisen, daß die Assimilation zu verschiedenen Tageszeiten gleich groß ist. Hierfür ein Beispiel:

Am 20. September wurde mit einer im freien Lande wurzelnden Buche ein normaler Assimilationsversuch angestellt. Der Kohlensäuregehalt betrug 0,17 resp. 0,19% CO_2. Die Temperatur in der Glocke war annähernd konstant. Im allgemeinen war sonniges Wetter, gelegentlich schob sich eine Wolke vor die Sonne. Der direkte Sonnenschein wurde durch einen mit weißem Zeug überspannten Rahmen abgeblendet.

	Zugegeben mg CO_2	Atmung mg CO_2	Assimilation mg CO_2	Assim. pro Std. mg CO_2
9 Uhr 30′ V. bis 11 Uhr 30′ V.	710	103	255	127
12 Uhr 30′ N. bis 2 Uhr 30′ N.	593	103	255	128

Also auch diese Zahlen zeigen, daß bei einer Konstanz der äußeren Verhältnisse die Assimilation zu verschiedenen Tageszeiten gleich ausfällt. Unter normalen Verhältnissen verhält sich der Chloroplast wie ein physikalischer Apparat, der nach Maßgabe der gegebenen Bedingungen funktioniert. Für die vergleichenden Assimilationsversuche mit der Säure bei konstanter Lichtquelle ergibt sich aber aus diesen Resultaten, daß mit Rücksicht auf die Assimilation jede Tageszeit gewählt werden darf.

Der Chloroplast funktioniert wie ein physikalischer Apparat aber nur dann, wenn er sich in normalem Zustande befindet. Nach den Untersuchungen von Ewart kann er durch die verschiedensten Stoffe und Ver-

hältnisse beeinflußt werden, so daß die Assimilation herabgedrückt oder gar sistiert wird. Niedrige Temperaturen können auch zu den ungünstigen Faktoren gehören. Diese Tatsache legt die Frage nahe, ob die immergrünen Pflanzen in unserem Klima während des Winters assimilieren, oder ob sie infolge der Kälte diese Fähigkeit einbüßen. Die Beantwortung dieser Frage war, abgesehen von dem Interesse, welches sie für die Biologie der Gewächse hat, für mich von großer Bedeutung, da es davon abhing, ob ich meine Versuche während des Winters unter Verwendung von immergrünen Holzgewächsen fortsetzen konnte. Nach den Untersuchungen von Stahl[1]) muß man annehmen, daß die Gewächse im Winter nicht assimilieren würden; nach Ewarts[2]) Untersuchung ist man allerdings zu einem anderen Schluß berechtigt. Wohl ist bei niedriger Temperatur die Assimilation sistiert, aber ein verhältnismäßig kurzer Aufenthalt bei Zimmertemperatur stellt die normale Aktivität der Chloroplasten wieder her. Indem ich hierauf die gebührende Rücksicht nahm, ist es mir während eines Winters gelungen, ganz ausgezeichnet gut mit den Fichten zu experimentieren. In anderen Wintern hingegen stieß ich auf allerlei Schwierigkeiten, die Assimilation verlief an verschiedenen Tagen bei demselben Exemplar ganz unregelmäßig, ja, setzte gelegentlich ganz aus. Es verhalten sich demnach verschiedene Exemplare verschieden, und dies ungleiche Verhalten muß von andern Ursachen herrühren, als von einer Inaktivierung der Chloroplasten, welche in kurzer Zeit zu heben ist. Irgend eine Veränderung im Aussehen der Nadeln war bei den Exemplaren, welche nicht assimilieren wollten, nicht eingetreten. Zu den Versuchen wurden nur Topfexemplare benutzt, und zwar stammten die in den verschiedenen Wintern benutzten von derselben Serie ab.

Im Laufe dieser Abhandlung werde ich noch Gelegenheit haben, auf die Ergebnisse der mit Erfolg ausgeführten Versuche mit der Fichte einzugehen, hier möchte ich nur zwei Beispiele für die ungleichartige Leistung anderer Exemplare aus dem Winter anführen.

Datum	Atmung	Assimilation	Absaugen	Atmung	Prozentgehalt der Luft an CO_2	Assimilierte Menge CO_2 in der Stunde
17. I.	11^{30}—12^{30}	12^{30}—5^{30}	5^{30}—7	7—8	0,58	22
20. I.	9^{30}—11^{30}	11^{30}—4^{45}	4^{45}—6^{45}	6^{45}—7^{45}	0,36	33
21. I.	9^{10}—12^{10}	12^{10}—6^{30}	6^{30}—8	8—9	0,5	46
22. I.	9^{30}—11^{30}	11^{30}—4^{30}	4^{30}—6^{30}	6^{30}—7^{30}	0,35	9
23. I.	10^{15}—11^{15}	11^{15}—4^{15}	4^{15}—6^{15}	6^{15}—7^{15}	0,02	4

[1]) Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. Bot. Ztg. 1894.

[2]) On assimilatory inhibition in plants. Journ. of the Linnean Society Vol. XXXI, Nr. 217. S. 389 ff. Botany.

(Fortsetzung der Tabelle auf voriger Seite.)

Datum	Atmung	Assimilation	Absaugen	Atmung	Prozentgehalt der Luft an CO_2	Assimilierte Menge CO_2 in der Stunde
24. I.	9^{5}—10^{5}	11^{20}—4^{30}	4^{30}—6^{30}	6^{30}—7^{30}	0,59	44
25. I.	9^{15}—10^{15}	11^{35}—4^{35}	4^{35}—6^{35}	6^{35}—7^{35}	0,21	35
29. I.	9^{40}—10^{40}	10^{40}—3^{40}	3^{40}—4^{40}	5^{20}—6^{20}	0,4	64
30. I.	9^{20}—10^{20}	10^{20}—3^{20}	3^{20}—5^{20}	5^{20}—6^{23}	0,15	25
3. XI.	11^{50}—12^{50}	12^{50}—4^{50}	4^{50}—6^{20}	6^{20}—7^{20}	0,07	0
4. XI.	11^{55}—12^{55}	12^{55}—4^{55}	4^{55}—6^{25}	6^{25}—7^{25}	0,07	28
5. XI.	11—12	12—4	4—6	6—7	0.05	27
6. XI.	11–12	12—4	4—6	6—7^{15}	0,06	0

Vergleicht man die in der Stunde assimilierte Menge Kohlensäure mit der Konzentration der angewandten Kohlensäure, so gewinnt man den Eindruck, als ob diese Exemplare vollständig unregelmäßig arbeiteten, obgleich die äußeren Verhältnisse konstant geblieben waren. Hier müssen also noch innere Ursachen im Spiele sein. Man könnte auch an einen gelegentlichen ganzen oder teilweisen Schluß der Spaltöffnungen denken, doch können damit wohl die Schwankungen in der Höhe des Assimilationswertes erklärt werden, aber es bleibt dann die Unregelmäßigkeit im Spiel der Spaltöffnungen zu erklären. Bei dem zweiten der oben aufgeführten Versuche wurde beobachtet, daß am 7. November viele junge Nadeln beschädigt waren, obgleich keine Säure auf die Pflanze eingewirkt hatte. Woher diese Beschädigungen rühren, ist durchaus unklar. In anderen ähnlichen Versuchen konnten gleichfalls nach mehreren Tagen Beschädigungen beobachtet werden, doch ist es bei ihnen nicht so zweifellos, wenn auch sehr wahrscheinlich, daß sie auf innere Ursachen zurückzuführen sind, wie bei dem obigen Beispiel, da vorübergehend schweflige Säure, wenn auch in sehr starker Verdünnung auf die Exemplare eingewirkt hatte. Die aus inneren Ursachen auftretenden Beschädigungen weisen darauf hin, daß bei manchen Exemplaren oder unter bestimmten Umständen im Winter Veränderungen in den Nadeln auftreten, welche unter den angewandten Versuchsverhältnissen zum Tode eines Teiles der Nadeln führen.

Nach Sorauer[1]) sollen die gesunden Nadeln der Fichte eine winterliche Veränderung ihres Zellinhaltes erfahren. Die Körnchennatur der Chloroplasten soll mehr oder weniger undeutlich werden, indem sie verquellen und schließlich einen gleichmäßig ausgebreiteten lebhaft grünen Plasmainhalt darstellen. Außerdem treten reichlich Öltropfen und oxal-

[1]) Sorauer und Ramann, Sogenannte unsichtbare Rauchbeschädigungen. Bot. C. LXXX 1899. S. A. S. 24/25.

saurer Kalk auf. Diese Veränderungen der Chloroplasten habe ich nicht beobachten können, obgleich ich in mehreren Wintern mein Augenmerk darauf gerichtet habe. Waren die Nadeln tadellos grün, so waren die Chloroplasten auch stets normal. Nun sind aber kleine Flecken auf den Nadeln weit verbreitet, namentlich in der Nähe von Städten. Der Verfärbung dieser Stellen muß natürlich auch eine Änderung der Chloroplasten entsprechen. Ähnliche Bilder, wie sie Sorauer beschreibt, kann man übrigens auch an ganz normal grünen Nadeln durch die Präparationsmethode erhalten. Schneidet man frisches Material mit dem Rasiermesser, so treten diese Erscheinungen in einzelnen Zellen auf. Um die Mängel der Präparationsmethode auszuschließen, habe ich schließlich vor dem Schneiden die Chloroplasten durch Einlegen in Sublimatalkohol fixiert. Die Erscheinungen blieben dann beim Schneiden aus. Hiermit will ich keineswegs gesagt haben, daß die von Sorauer beobachteten Erscheinungen auf seine Präparationsmethode zurückzuführen sind. Soviel steht aber fest, daß die von ihm beschriebene winterliche Veränderung keine allgemeine Erscheinung der Fichte ist. Dagegen spricht auch der Umstand, daß ich während eines ganzen Winters ausgezeichnete Assimilationsversuche mit dieser Pflanze ausführen konnte. Auch möchte ich zu bedenken geben, ob sich der Farbenton der Nadeln nicht ändern sollte, in denen die von Sorauer beobachteten Veränderungen des Chlorophyllapparates auftreten.

Viel ungünstigere Erfahrungen habe ich mit der Kiefer gemacht und habe infolgedessen darauf verzichten müssen, mit ihr im Winter zu experimentieren. Der folgende Versuch wird das Gesagte illustrieren.

Datum	Atmung	Assimilation	Absaugen	Atmung	SO_2	Prozentgehalt der Luft an CO_2	Assimilierte Menge CO_2 in der Stunde
7. XI.	11—12	12—4	4—6	6—7		0,07	31
8. XI.	11—12	12—4	4—6	6—7		0,06	9
10. XI.	11—12	12—4	4—6	6—7		0,08	43
17. XI.	12—1	1—5	5—6^{30}	6^{30}—7^{30}		0,07	18
18. XI.	11—12	12—4	4—6	6—7		0,09	15
20. XI.	11^{30}—12^{30}	12^{30}—4^{30}	4^{30}—6^{30}	6^{30}—7^{30}	1:150000	0,07	10
21. XI.	11—12	12—4	4—6	6—7		0,07	5

Also auch hier eine vollständige Regellosigkeit und dann ein allmählicher Niedergang in der Assimilation, nachdem die Pflanze über acht Tage im Laboratorium zugebracht hatte, und vordem die Säurewirkung begann. Die Einwirkung der schwefligen Säure am 20. XI. dürfte ohne Einfluß auf die Assimilation der Pflanze gewesen sein. Irgendwelche mit unbewaffnetem Auge sichtbare Veränderungen oder Beschädi-

gungen wies die Pflanze nicht auf; es müssen innere Ursachen für die allmähliche Verminderung der Assimilation angenommen werden.

Außer mit der Fichte und der Kiefer habe ich im Winter noch Assimilationsversuche mit Zweigen von Taxus baccata, Prunus Laurocerasus, Ilex aquifolium und Hedera helix, mit letzterer allerdings erst Anfang März, in beschränktem Maße angestellt, ohne daß bei sorgfältiger Ausführung der Versuche irgend eine Schwierigkeit aufgetreten wäre.

Wenn demnach bei allen immergrünen Pflanzen unseres Klimas die Chloroplasten die Möglichkeit der Assimilation haben, so können doch Verhältnisse gegeben sein, daß diese Fähigkeit nicht zur Geltung kommen kann. Man wird zuerst an den Spaltöffnungsmechanismus denken. Sind die Spaltöffnungen geschlossen, wird keine oder wenigstens keine nennens) werte Assimilation stattfinden. Nach den Untersuchungen von Stahl[1] müßte man annehmen, daß die Spaltöffnungen der wintergrünen Pflanzen während des Winters festgeschlossen sind. »Kräftige Zweige von Buxus, Mahonia, Ilex, Hedera und Taxus wurden am 12. Dezember bei sonnigem Frostwetter abgeschnitten und, mit der Schnittfläche in Wasser tauchend, in feuchter Atmosphäre der Sonne ausgesetzt.

Nach dreistündiger Besonnung wurden die Blätter der Kobaltprobe unterworfen, wobei sich herausstellte, daß eine Rötung des Papieres nur bei Ilex aquifolium eintrat. Nach weiteren drei Tagen entfärbten die Blätter der anderen Pflanzen, obwohl sie täglich mehrere Stunden lang besonnt worden waren, noch immer nicht das Kobaltpapier. Erst nach acht Tagen trat dies bei Taxus und Mahonia ein, während Buxus und Hedera ihre Spalten noch geschlossen hielten« [1]). Die von mir benutzten Zweige wurden, sobald sie aus dem Freien hereingeholt worden waren, zu den Versuchen benutzt und zeigten sofort bei künstlicher Beleuchtung in geheizten Räumen Assimilation, so daß die Spaltöffnungen geöffnet gewesen sein müssen. Augenscheinlich haben Stahls Beobachtungen keine Allgemeingültigkeit. Der Schluß der Spaltöffnungen mag im Winter bei den immergrünen Gewächsen sehr häufig sein, tritt aber durchaus nicht überall ein. Wir kennen eben noch nicht die Bedingungen, welche im winterlichen Zustande dazu führen, und man kann Stahl nur zustimmen, wenn er sich über diesen Punkt folgendermaßen äußert: »Leitgeb vermutet in der Wasserarmut der Blätter den Grund des Spaltenverschlusses. Diese einfache Erklärung dürfte jedoch kaum ausreichend sein. Bei den in den winterlichen Ruhezustand getretenen Blättern kommen sicher noch manche andere Momente in Betracht, die sich vorläufig wohl kaum übersehen lassen« [1]). Übrigens habe ich meine Versuchs-

[1]) l. c. S. 126.

pflanzen auch direkt auf Schluß der Spaltöffnungen geprüft. Bei Taxus war es mir allerdings nicht möglich, zu einer Entscheidung zu gelangen, doch konnte ich mich bei Prunus und Ilex sicher davon überzeugen, daß die Spaltöffnungen durchaus nicht durchweg geschlossen waren. Meistenteils waren sie offen, wenn auch in sehr verschiedenem Grade; gelegentlich kamen auch geschlossene vor und ich habe mich auch mit der Kobaltprobe bei diesen Pflanzen davon überzeugen können, daß Blattpartien mit geschlossenen Spaltöffnungen vorhanden sind. Bei der Fichte ist es augenscheinlich unmöglich, durch die direkte Beobachtung einwandfrei festzustellen, ob die Spaltöffnungen offen sind, wie aus den Mitteilungen auf S. 38 hervorgeht.

Versuchsmaterial. Die Frage, ob die Assimilation von der schwefligen Säure beeinflußt wird, wenn sie in solchen Konzentrationen auf die Pflanzen trifft, daß die Blattorgane nicht beschädigt werden, sollte nach der im vorstehenden entwickelten Methode an einem möglichst umfangreichen Material beantwortet werden. Es wurde deshalb mit Fichte, Kiefer, Tanne, Buche, Eiche, Birke, Weide, Weinstock, Aralia japonica, Abutilon palmatum, Ficus elastica, Cereus grandiflorus, Genista Andreana, Allium Cepa, Taxus, Prunus Laurocerasus, Ilex aquifolium und Epheu experimentiert. Von den vier letzten Pflanzen wurden Zweige benutzt, die übrigen kamen im bewurzelten Zustand, meistens als Topfpflanzen zur Anwendung, Weide als Topfpflanze und als Wasserkultur. Cereus und Allium waren mit den Wurzeln in Wasser gesetzt worden, da nebenbei ihre Wasseraufnahme ermittelt werden sollte.

Die Wahl der Versuchspflanzen geschah unter verschiedenen Gesichtspunkten. Fichte, Kiefer, Buche, Eiche und Ahorn wurden gewählt, weil sie als Waldbäume für die Beschädigungen durch Hüttenrauch von großer Bedeutung sind; besonderes Interesse bieten nach dieser Richtung Fichte, Buche und Eiche. Birke und Weide wurden zur Entscheidung einer infolge der Versuchsergebnisse auftretenden Nebenfrage in die Untersuchung hineingezogen. Die übrigen Pflanzen wurden geprüft, teils um möglichst verschiedenartige Pflanzen zu untersuchen, teils weil sie immergrün waren und so zu Winterversuchen Verwendung finden konnten.

Versuchsergebnisse. Die meisten Versuche sind, wie ich oben angegeben habe, so ausgeführt worden, daß jeder Teilversuch einen ganzen Tag in Anspruch nahm. Wenn nicht während der ganzen Nacht Luft durch den Apparat hindurchgesogen worden war, wurde vor Beginn des eigentlichen Versuches längere Zeit, etwa eine Stunde, Luft durchgesogen, und dann erst ein einstündiger Atmungsversuch ausgeführt. Auf denselben folgte ein mehrstündiger Assimilationsversuch. Nach demselben wurde ein bis zwei Stunden im Dunkeln Luft durch den Apparat hindurchgesogen

und dann wieder ein Atmungsversuch von einer Stunde ausgeführt. Im allgemeinen bin ich immer so verfahren, daß ich das Mittel aus diesen beiden Atmungswerten genommen und für die Atmung während der Assimilation eingesetzt habe. Ein Teil der Versuche ist so ausgeführt worden, daß am Morgen des ersten Tages ein normaler, am Nachmittag ein Säureversuch und am folgenden Morgen wiederum ein normaler Versuch in derselben Weise wie die übrigen Versuche stattfand. Gelegentlich wurden für besondere Zwecke die Versuche wohl auch etwas abgeändert.

Bei den meisten Versuchen folgte auf einen Säureversuch ein normaler Versuch; mehrfach sind auch mehrere normale Versuche nach dem Säureversuch ausgeführt worden; denn einen schlagenden Beweis, daß eine Assimilationsverminderung durch die Säure vorliegt, hat man natürlich nur, wenn unter normalen Umständen die alte oder nahezu die alte Assimilationshöhe erreicht wird. Sonst könnte eine Assimilationsverminderung ja auch eine zufällige durch andere Ursachen bedingte Erscheinung sein, wie etwa in dem oben aufgeführten Versuch mit der Kiefer aus dem Winter. Nichtsdestoweniger liegen mir einige Versuche vor, bei denen der zweite normale Versuch mehr durch Zufall als in bewußter Absichtlichkeit weggeblieben ist. Auch solche Versuche lassen sich mit der entsprechenden Vorsicht verwerten, namentlich wenn aus anderen Versuchen bekannt ist, daß die betreffende Säurekonzentration nicht schädigend wirkt.

Die Wahl der Säurekonzentration war zunächst eine rein willkürliche. Es stellte sich schon bei den ersten Versuchen, welche im ersten Sommer ausgeführt wurden, heraus, daß die Säure sehr verdünnt gewählt werden muß, wenn sie keine sichtbare Beschädigungen der Blätter hervorrufen soll. Übrigens war das auch die stillschweigende Voraussetzung, von welcher die ganze Untersuchung ausging. Wenn in einer Entfernung von mehreren Kilometern von der Rauchquelle im Freien noch durch die Säure eine Assimilationsverminderung hervorgerufen werden soll, so muß es sich wohl um beträchtliche Verdünnungen handeln. Wenn auch für meine Zwecke nur Verdünnungen von Bedeutung waren, bei denen keine sichtbaren Beschädigungen auftreten, so finden sich doch auch unter meinen Versuchen solche, bei denen Beschädigungen aufgetreten sind, weil man nach den richtigen Konzentrationen erst suchen mußte, und bei der Buche waren die Beschädigungen überhaupt nicht auszuschließen, doch wird auf diese Verhältnisse bei Besprechung der einzelnen Versuchspflanzen näher einzugehen sein.

Es war meine ursprüngliche Absicht, für die Bäume, welche hinsichtlich der Rauchbeschädigungen von größter Bedeutung sind, also z. B.

für Fichte, Buche, Eiche und einige andere die Grenzkonzentrationen der Säuren festzustellen, bei denen gerade noch eine Beeinflussung der Assimilation stattfindet, und für verschiedene Konzentrationen die prozentische Assimilationsverminderung, welche mit wachsender Verdünnung abnehmen muß, zu ermitteln, doch habe ich diesen Plan aufgeben müssen, weil die individuellen Verschiedenheiten eine zu große Rolle spielten, sodaß zur Erreichung dieses Zieles noch viel mehr Versuche erforderlich gewesen wären, als ich bereits ausgeführt habe.

Die Ergebnisse meiner Versuche lassen sich kurz dahin zusammenfassen, daß unter Einwirkung der schwefligen Säure und Salzsäure die daraufhin untersuchten Pflanzen eine Assimilationsverminderung aufweisen, wenn die Säure von entsprechender Konzentration gewählt wird. Eine vollständige Unterdrückung der Assimilation ist nur in zwei Fällen beobachtet worden (Ficus elastica, Abutilon palmatum), sonst konnte nur eine mehr oder weniger bedeutende Assimilationsverminderung festgestellt werden. Auch läßt sich vielfach beobachten, daß die Wirkung der Säure über die Dauer ihrer Einwirkung hinausgeht. Diese Nachwirkung kann mehrere Tage anhalten, wie aus dem Versuch Nr. 1 mit der Fichte (Tabelle 2) hervorgeht, ja es kann sogar die Wirkung der Säure eventuell in höherem Maße zur Geltung kommen, wenn die Einwirkung der Säure selbst schon aufgehört hat. Das tritt sehr deutlich in einem Versuch mit dem Weinstock und der Weide hervor.

			CO_2 %	p. Std. assim. CO_2
Weinstock	9. Mai	normal	0,08	51 mg
	10. „ V.	1:33400 SO_2	0,13	50 „
	10. „ N.	normal	0,09	22 „
Weide	6. Juni	normal	0,09	48 „
	7. „ V.	1:127000 SO_2	0,06	17 „
	7. „ N.	normal	0,07	12 „

Ich lasse nun die Versuchsergebnisse im einzelnen folgen.

1. Fichte. Mit der Fichte ist eine größere Zahl von Versuchen zum Teil von verhältnismäßig langer Dauer ausgeführt worden, doch sind sie teilweise nicht brauchbar, weil allerlei störende Fehlerquellen eingegriffen haben. Mehrere Versuche sind dadurch ausgefallen, daß der Apparat undicht geworden war, was, da er damals noch nicht mit einem Manometer versehen war, zu spät bemerkt wurde. Auch machte sich in anderen Versuchen das ungleichmäßige Arbeiten der Pumpe störend fühlbar, so daß nicht die beabsichtigten Konzentrationen der schwefligen Säure erhalten wurden. Zuweilen mag auch, da die meisten Versuche im Winter ausgeführt wurden, das Versuchsmaterial nicht seine Schuldigkeit getan haben. Immerhin finden sich unter den angestellten Versuchen mehrere

einwandfreie, und aus diesen geht unzweifelhaft die Einwirkung der Säure auf die Assimilation hervor. In der Tabelle 2 gebe ich unter Nr. 1 bis 4 die genaueren Zahlen für die Versuche. Die drei ersten Versuche sind während des Winters, der vierte im Sommer ausgeführt worden. Bei dem Versuch 1 läßt die Säurekonzentration von 1 : 269000 gar keine Einwirkung erkennen. Dahingegen macht sich die Einwirkung von 1 : 60000 einige Tage später deutlich fühlbar. Während unter normalen Umständen 61—62 mg CO_2 in der Stunde assimiliert wurden, sank die stündliche Assimilationsgröße während der Säurewirkung auf 21. Bei dieser hohen Konzentration machte sich eine lang andauernde Nachwirkung bemerkbar. Am folgenden Tage wurden gleichfalls nur 22 mg assimiliert. Am nächstfolgenden stieg die Größe auf 42, am dritten Tage auf 53 und am vierten auf 57. Alsdann wurde der Versuch abgebrochen, da das Wiederansteigen der Assimilationsgröße festgestellt war.

Beim zweiten Versuch wurde am 22. November eine normale Bestimmung ausgeführt. Die Assimilationsgröße betrug 57 für die Stunde. Am 26. November wirkte eine Säurekonzentration von 1 : 150000 und am 27. eine solche von 1 : 140000 ein. Diese Konzentrationen waren nicht ausreichend, um die Assimilation erheblich herabzudrücken. An diesen Tagen wurden 51 mg in der Stunde assimiliert. Am 28. November belief sich während der Versuchsdauer die Konzentration auf 1 : 80000. Die Assimilation sank auf 40. Aus irgend welchen Gründen mußte hier der Versuch abgebrochen werden. Daß aber die Fichte unter der Einwirkung der Säure nicht gelitten hatte, wurde durch einen normalen Assimilationsversuch am 7. Februar des folgenden Jahres festgestellt; die stündliche Assimilation betrug 63 mg CO_2.

Das Exemplar aus dem dritten Versuche reagierte stärker auf die Säure als das aus dem vorhergehenden Versuch. Die Säurewirkung (1 : 245000) am 14. Dezember blieb zunächst erfolglos, machte sich aber vielleicht am folgenden Tage, wo wiederum die Säure (1 : 250000) einwirkte, bemerkbar, denn die Assimilationsgröße sank auf 39 mg CO_2. Im Laufe des 16. Dezembers wurde kein Assimilationsversuch angestellt, wohl aber während acht Stunden Säure durchgeleitet in der Mischung 1 : 250000. Am 17. Dezember wurde alsdann eine konzentriertere Säure über die Pflanze geleitet, und zwar während vier Stunden eine solche von 1 : 159000 und während zwei Stunden eine solche von 1 : 163000. Unter der Einwirkung dieser Konzentration und der Nachwirkung der früheren Säure sank die Assimilation nur auf 34 mg. Am folgenden Tage sank die Assimilation auf 31 mg, augenscheinlich als Nachwirkung dieser verhältnismäßig hohen Konzentration, denn am 18. wirkte nur eine sehr schwache Säure ein (1 : 290000). Als am folgenden Tage nun eine Konzentration

von 1 : 171000 einwirkte, sank die Assimilationsgröße auf 25 und am 20. Dezember, trotzdem keine Säure mehr einwirkte, auf 17 mg CO_2. Am zweiten Tage stieg die normale Assimilation auf 40 und am dritten Tage auf 45, womit der Versuch abgebrochen wurde.

Der vierte Versuch wurde im August ausgeführt. Es fällt hier zunächst die hohe Atmung auf, was vielleicht darauf zurückzuführen ist, daß ein größeres Quantum Nadeln unter der Glocke vorhanden war. Daß die Assimilationsgröße dementsprechend nicht gestiegen ist, erklärt sich leicht aus der schwächeren Lichtquelle, welche in diesem Versuche zur Anwendung kam. Bei den drei ersten Versuchen wurde der Scheinwerfer benutzt, bei diesem die beiden nebeneinander geschalteten Bogenlampen. Von allen Versuchsexemplaren zeigt dies Exemplar die größte Empfindlichkeit. Bei einem Gehalt der Luft an Säure von 1 : 337700 sank die Assimilationsgröße von 51 auf 18, um zwei Tage später unter normalen Verhältnissen auf 44 mg zu steigen.

Bei Beurteilung dieser Versuchsergebnisse darf man nicht außer acht lassen, daß die angegebene Säurekonzentration bei den drei ersten Versuchen stets nur im Anfang des betreffenden Versuches ermittelt und dann auf die ganze Versuchsdauer übertragen wurde. Dies Verfahren ist nicht ganz zutreffend. Wenn man berücksichtigt, daß die schweflige Säure aus schwefligsaurem Natrium entwickelt wurde, welches aus einem 50 ccm haltenden Meßzylinder in Schwefelsäure tropfte, so muß sich der Gehalt an Säure in der Luft beständig ändern, je nachdem wie die Oxydation der Lösung in dem Meßzylinder Fortschritte machte. Da anfänglich die Schnelligkeit, mit welcher die Oxydation stattfindet, unterschätzt wurde, so ist es in den meisten Assimilationsversuchen, nicht nur mit der Fichte, unterblieben, bei der Beendigung des Säureversuches den Gehalt der Lösung an Säure zu bestimmen. In den drei ersten Versuchen hat die Assimilation unter Einwirkung der Säure sechs Stunden gedauert. Am Ende dieser Zeit wird der Gehalt an Säure erheblich geringer geworden sein, so daß im Durchschnitt die Pflanzen von geringeren Konzentrationen beeinflußt worden sind. Auf diesen Umstand ist es wohl zurückzuführen, wenn die Assimilationsverminderung bei Konzentrationen, wo ein erheblicher Ausfall erwartet wurde, ausbleibt oder sehr gering ist. Andererseits dürfte die starke Assimilationsverminderung bei der beträchtlichen Verdünnung von 1 : 337700 im Versuch 4 zum Teil dem Umstande zu verdanken sein, daß nach den ersten zwei Stunden die Lösung des schwefligsauren Natriums durch neue Lösung ersetzt und der Gehalt derselben an schwefliger Säure am Ende des Versuches bestimmt wurde. Die in diesem Versuche angegebene Konzentration ist tatsächlich die Durchschnittskonzentration. Würde die Oxydation stets in gleichem Tempo vor sich

gehen, so würde ja auch die Bestimmung der Anfangskonzentration einen brauchbaren Maßstab abgeben, aber es ist wohl zu bezweifeln, ob das geschieht, und hierauf möchte ich es schieben, daß verschiedene Exemplare sich bei scheinbar gleicher Konzentration ungleich verhalten. Andererseits ist wohl nicht zu verkennen, daß verschiedene Individuen ungleich empfindlich sind.

Am deutlichsten tritt die Assimilationsverminderung bei Anwendung von verhältnismäßig hohen Konzentrationen hervor, so im Versuch 1 und 2 bei 1 : 60000 und 1 : 80000, in Versuch 3 bei 1 : 160000 und 1 : 170000 im Winter. Bei verhältnismäßig geringen Konzentrationen ist mit Ausnahme von Versuch 4 der Assimilationsausfall zu gering, um in allen Fällen mit Sicherheit festgestellt werden zu können. Mit Rücksicht auf die individuellen Verschiedenheiten und die ins Ungemessene steigende Arbeit wurde von der ursprünglichen Absicht, die Grenzkonzentrationen zu ermitteln, bei welchen eine Assimilationsverminderung festzustellen ist, Abstand genommen.

2. Taxus baccata. Es wurde im Winter ein Versuch mit einem Zweig angestellt, dessen Ergebnisse in Tabelle 2 näher angegeben sind. In diesem Versuch fanden normale Assimilation und Assimilation unter Säurewirkung für sehr kurze Zeiträume statt. Am Nachmittag des ersten Tages wirkte die Säure 1 : 13000 zwei Stunden lang ein und hatte ein Sinken der Assimilationsgröße von 44 auf 27 zur Folge. Bei längerer Einwirkung würde der Abfall vermutlich ein noch beträchtlicherer gewesen sein. Bei der normalen Assimilation am folgenden Tage ist die alte Höhe nicht ganz wieder erreicht worden. Der Abfall ist an diesem Tage aber viel beträchtlicher. Bei der Einwirkung einer Konzentration von 1 : 15000 während zwei Stunden ist die Assimilationsgröße von 37 auf 8 gesunken. In den folgenden zwei Stunden macht sich eine Nachwirkung der Säure bemerkbar, indem sich die Assimilationsgröße unter normalen Verhältnissen von 8 mg während dieses Zeitraumes nur auf 18,5 mg hob. Der Versuch wurde hiernach abgebrochen. Eine Beschädigung des Zweiges hatte nicht stattgefunden.

3. Buche. Mit der Buche wurde eine größere Anzahl von Versuchen mit Topfexemplaren ausgeführt. Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 2 in den Versuchen 6—14 aufgeführt. Bei jedem Assimilationsversuch mit Säure, der 4—6 Stunden dauerte, wurde die Lösung des schwefligsauren Natriums nach 2—3 Stunden erneuert. In jedem Falle wurde die benutzte Lösung am Anfang und am Ende titriert und aus diesen Bestimmungen das Mittel genommen, so daß der in den einzelnen Versuchen aufgeführte Gehalt der Luft an Säure den Durchschnittsgehalt angibt. Aus den Versuchen geht unzweifelhaft hervor,

daß auch bei der Buche unter der Einwirkung der schwefligen Säure die Assimilation herabgedrückt wird. Die Versuche lassen ferner erkennen, daß verschiedene Individuen sehr ungleich empfindlich sind. In dem einen Versuch (Nr. 6) vermochte weder eine Konzentration von 1 : 191000, noch von 1 : 64500 einen Einfluß auszuüben, während in einem anderen Versuch (Nr. 13) eine Konzentration von 1 : 292000 eine deutliche Herabdrückung der Assimilationsgröße bewirkt, und es selbst bei der Konzentration 1 : 317000 (Versuch Nr. 10) nicht ausgeschlossen ist, daß eine Verminderung der Assimilation stattgefunden hat. Ob eine solche vorliegt, muß für den Versuch Nr. 11, in dem die einwirkende Konzentration eine verhältnismäßig hohe gewesen ist, 1 : 176000, zweifelhaft bleiben. Bei derselben Konzentration ist in dem Versuch Nr. 9 eine Assimilationsverminderung von 50% zu beobachten. Daß es sich aber bei dem ungleichen Verhalten gegenüber der gleichen Konzentration um individuelle Verschiedenheiten handeln muß, wird noch durch eine andere Tatsache bestätigt. Bei einem Teil der Versuchspflanzen sind am Schluß des Versuches sichtbare Beschädigungen an den Blättern aufgetreten, zum Teil nachdem ohne Säure die Assimilationsgröße inzwischen wieder in die Höhe gegangen war. In den Versuchen 8, 12 und 13, wo sicher eine Beeinträchtigung der Assimilation stattgefunden hat, ist die Wirkung der Säure ohne sichtbare Spuren an den Blättern geblieben. Dahingegen sind solche Spuren in den Versuchen 7, 9, 10 und 14 wahrzunehmen. Die Versuche 7 und 9 zeigen einwandfrei, daß hier die Verminderung der Assimilationsgröße nicht auf ein Zugrundegehen von Blattsubstanz zurückzuführen ist, sondern auf eine Beeinflussung des Chloroplasten, da sich die Assimilationsgröße ohne Säurewirkung am folgenden Tage im ersten Falle von 15 auf 29 und im zweiten Falle sogar wieder auf die normale Höhe gehoben hat. In Versuch 10 hingegen muß es zweifelhaft bleiben, ob das weitere Sinken der Assimilationsgröße am folgenden Tage ohne Einwirkung der Säure von 31 auf 23 als Nachwirkung aufzufassen oder ob hier bereits eine Wirkung der Beschädigung zu spüren ist. In Versuch 14 muß das Sinken der Assimilationsgröße von 63 auf 55 am vierten Tage als eine Wirkung der Beschädigung der Blätter angesehen werden. Das Sinken der Assimilationsgröße unter der Einwirkung der Säure und am folgenden Tage unter normalen Verhältnissen von 81 auf 65 resp. 63 könnte demselben Umstande zugeschoben werden, könnte allerdings auch auf eine Beeinflussung der Chloroplasten zurückzuführen sein. Daß die Assimilationsgröße durch die Beschädigung sinkt, wie das von vornherein erwartet werden mußte, wurde noch durch einen besonderen Versuch festgestellt. Im Versuch 9 war am folgenden Tage nach der Säureeinwirkung die Assimilation auf die alte Höhe hinauf gegangen. Am

andern Tage, als der Versuch bereits beendet war, wurden die Beschädigungen der Blätter bemerkt. Es wurde deshalb zwei Tage später mit dieser Pflanze noch ein normaler Assimilationsversuch angestellt. Jetzt belief sich die Assimilationsgröße auf 42 mg für die Stunde, war also um 30 Prozent gegenüber der früheren normalen geringer geworden.

Die hier geschilderten Beobachtungen habe ich nur bei der Buche machen können. Sie sind sehr auffallend und werfen ein Licht auf die Vorgänge, welche sich in den Zellen unserer Versuchspflanzen abspielen müssen. Diese Nachwirkung kann man sich vielleicht folgendermaßen erklären. Auch für die Buche trifft es zu, daß die Chloroplasten energischer auf die Säure reagieren als das Plasma der Zellen, da die Assimilationsverminderung unter Einwirkung von Säure zu beobachten ist, wo keine Beschädigungen der Blätter wahrgenommen werden. Es wird ferner durch die Versuche bestätigt, in denen trotz der Nachwirkung die Assimilationsgröße nach der Säurewirkung zunächst wieder ansteigt, eventuell bis zur normalen Höhe. Man muß daraus folgern, daß die Schädigung des Plasmas erst einsetzt, wenn die nachteilige Beeinflussung der Chloroplasten aufgehört hat. Da wir nun aus dem Nachweis der schwefligen Säure in den Blättern wissen, daß sie durch gewisse Stoffe gebunden, gleichsam gespeichert wird, so erklärt sich vielleicht das Aufhören der Inanition durch das Auswandern der Stoffe, an welche die Säure gebunden ist, aus den Chloroplasten, und indem diese in den Stoffwechsel der Zellen gezogen werden, kann sich nun eine schädigende Wirkung der schwefligen Säure bemerkbar machen. Wenn die schweflige Säure zu den Chloroplasten vordringt, muß sie das Plasma passieren, und es muß doch als selbstverständlich angenommen werden, daß in dem das Plasma durchtränkenden Wasser ein Teil der eindringenden Säure gelöst wird. Sind außerdem noch Stoffe vorhanden, welchen sich die Säure anlagern kann, so wird ein weiterer Teil durch sie gebunden. Überschreitet auf diese Weise der Gehalt des Plasmas an schwefliger Säure eine bestimmte Höhe, so wird das Plasma getötet werden. Da nun die Chloroplasten unverkennbar empfindlicher sind als das Plasma, so müßte man annehmen, daß, wenn dies durch einen bestimmten Säuregehalt getötet wird, die Chloroplasten viel eher zugrunde gehen müßten. Statt dessen sehen wir aber die Chloroplasten wieder normal arbeiten und dann das Plasma absterben. Hier ist die Vermutung doch kaum zu umgehen, daß säurehaltige Substanzen aus den Chloroplasten in das Plasma auswandern und dadurch den Gehalt in demselben an Säure so anreichern, daß es abstirbt. Da die Assimilation auch herabgedrückt wird, wenn keine Beschädigung der Blätter beobachtet wird, kann man wohl nicht gut annehmen, daß das

Buchenplasma empfindlicher sei als seine Chloroplasten, sondern höchstens, daß es sehr viel langsamer als diese reagiere.

Mit dem Absterben des Plasmas müssen natürlich auch die Chloroplasten und ihre Wirksamkeit vernichtet werden. Die durchschnittliche stündliche Assimilationsgröße unter im übrigen normalen Verhältnissen muß natürlich herabgedrückt werden, wenn ein Teil der Blattsubstanz vernichtet ist.

4. Eiche. Aus den beiden in Tabelle 2 aufgeführten Versuchen mit Topfexemplaren geht hervor, daß die Eiche gegen die Einwirkung der schwefligen Säure sehr wenig empfindlich ist. In dem Versuch 15 ist bei Anwendung einer Konzentration von 1 : 52000 der Abfall in der Assimilation zwar vorhanden, aber er ist nur unbedeutend. Beträchtlicher ist er im zweiten Versuch, wo die Konzentration noch höher gewählt wurde, nämlich 1 : 39750. Daß unter diesen Umständen eine Säurekonzentration von 1 : 597000 ganz wirkungslos war, kann nicht überraschen. Die Berechnung des Säuregehaltes ist in den beiden Versuchen nicht in der gleichen Weise erfolgt. In dem Versuch 16 wurde für jeden vier bis fünf Stunden dauernden Teilversuch eine frische Lösung von schwefligsaurem Natrium benutzt, die am Anfang und am Ende titriert wurde. Aus beiden Zahlen wurde das Mittel genommen. In dem Versuch 15 wurde etwas anders verfahren. Nach den ersten zwei Stunden wurde die Lösung von schwefligsaurem Natrium ausgewechselt. Von jeder Lösung wurde der Gehalt am Beginne festgestellt und aus diesen beiden Bestimmungen das Mittel genommen, welches der weiteren Berechnung zugrunde gelegt wurde.

Irgendwelche Beschädigungen an den Blättern traten nicht auf, trotzdem verhältnismäßig sehr hohe Konzentrationen der Säure zur Anwendung kamen.

5. Birke. Mit der Birke wurde ein Versuch mit einem Topfexemplar ausgeführt (Versuch 17, Tabelle 2). Mit Rücksicht auf die vorgeschrittene Zeit wurde am 2. Juni die Atmungsbestimmung am Schlusse des Versuches ausfallen gelassen. Als Atmungsgröße wurde die Anfangsatmung eingesetzt. Die Berechnung der Säure geschah folgendermaßen: In der Mitte des Versuchs wurde die Lösung des schwefligsauren Natriums gewechselt. Für jede Lösung wurde der Anfangs- und Endgehalt bestimmt. Aus dem jeweiligen Anfangs- und Endgehalt wurde das Mittel genommen, aus diesen beiden Mitteln wiederum das Mittel, und dieser Wert wurde der Berechnung zugrunde gelegt. Der Versuch zeigt, daß bei Anwendung einer Konzentration von 1 : 114000 eine Assimilationsverminderung zu beobachten ist. Wenn nun auch einzelne Beschädigungen an den Blättern aufgetreten sind, namentlich dort, wo das Gas einströmte,

so haben dieselben doch nicht vermocht, während der Versuchsdauer die Assimilation wesentlich zu beeinträchtigen.

6. Weide. Von den drei Versuchen, welche in Tabelle 2 beschrieben sind, wurden 18 und 19 mit Topfexemplaren, 20 mit einer Wasserkultur ausgeführt. Als Kulturgefäß diente hierbei ein 50 cm langes zylindrisches Glasgefäß von 6 cm Durchmesser, welches an beiden Enden mit einem Gummistopfen verschlossen werden konnte. Mit einem durchlochten Gummistopfen war im Frühjahr ein Weidensteckling luftdicht in diese Röhre eingesetzt worden. Das andere Ende wurde gleichfalls durch einen Gummistopfen verschlossen; durch diese Öffnung wurde die Nährlösung erneuert, Wasser zugegeben und auch Luft eingeleitet, wenn es erforderlich wurde. Der Durchmesser des Gefäßes war so gewählt worden, daß es durch die Öffnung in der Platte des Assimilationsapparates hindurchgeführt werden konnte. Die Befestigung des Gummistopfens, mit welchem dies Loch verschlossen wurde, fand in derselben Weise wie bei den Topfexemplaren statt, also oberhalb des Wasserkulturgefäßes um den Weidenstamm herum. Als Lichtquelle für alle diese Versuche dienten die beiden Bogenlampen. Beim Versuch 18 unterblieb die normale Assimilation am Schlusse, weil am 9. Juni, als sie ausgeführt werden sollte, an den Blättern Beschädigungen beobachtet wurden, welche am Abend des 7. Juni noch nicht wahrzunehmen waren. Während des 8. Juni hatte die Weide unter der Glocke zugebracht. Wenn nun auch unser Versuch unter der Einwirkung der Säure eine erhebliche Assimilationsverminderung mit steigender Verminderung am Nachmittag des betreffenden Tages aufweist, so kann doch nicht mit Bestimmtheit behauptet werden, wenn es auch sehr wahrscheinlich ist, daß hier eine reparable Assimilationsverminderung vorliegt. Es könnte dieselbe auch vielleicht auf Kosten der allmählich absterbenden Blätter gesetzt werden.

Der zweite Versuch wurde mit noch höherem Säuregehalt der Luft als der erste ausgeführt. Auch hier wurde eine starke Verminderung der Assimilationsgröße beobachtet (34—22). Die am folgenden Tage ausgeführte normale Assimilation zeigte eine Steigerung der Assimilationsgröße, die nicht erheblich, aber ausreichend war, um zu zeigen, daß eine durch die Säure hervorgerufene Assimilationsverminderung vorlag. Wenn die Assimilation am dritten Tage nicht stärker angewachsen war, so dürfte das auf Beschädigungen zurückzuführen sein, welche am Morgen dieses Tages beobachtet wurden, während am vorhergehenden Abend noch nichts von ihnen wahrzunehmen war. Durch Absaugen der säurehaltigen Luft aus dem Assimilationsapparat war dafür Sorge getragen worden, daß die Pflanze die Nacht über wieder in normaler Luft zubrachte.

An dem Wasserkulturexemplar sind während der Versuchsdauer

keine Beschädigungen aufgetreten. Die geringe Verminderung der Assimilationsgröße unter der Säureeinwirkung muß deshalb dieser auf die Rechnung gesetzt werden. Von einer nochmaligen Bestimmung der normalen Assimilation wurde als überflüssig in diesem Falle Abstand genommen. Wenn man berücksichtigt, daß selbst bei einer Säurekonzentration von 1 : 311800 noch eine Assimilationsverminderung zu verzeichnen ist, so wird man die Weide als eine sehr empfindliche Pflanze erklären müssen und werden wir berechtigt sein, den starken Assimilationsabfall in den Versuchen 18 und 19 unter der Einwirkung verhältnismäßig hoher Konzentrationen vorwiegend oder gar ausschließlich der Säure zur Last zu legen. In allen drei Versuchen wurde die Lösung des schwefligsauren Natriums etwa nach der halben Versuchsdauer durch neue ersetzt. Jedesmal wurde am Anfang und am Ende titriert, aus beiden Bestimmungen das Mittel genommen und das Mittel aus diesen beiden Mitteln der Berechnung des Säuregehaltes zugrunde gelegt.

7. Weinstock. Die drei in Tabelle 2 aufgeführten Versuche sind mit Topfpflanzen ausgeführt worden. Als Lichtquelle dienten wiederum die Bogenlampen. Der Säuregehalt der Luft wurde aus dem Mittel der titrierten Lösung von schwefligsaurem Natrium ermittelt. Dauerte der Säureversuch längere Zeit wie in Versuch 23 am 3. Juli, so wurde die Lösung des schwefligsauren Natriums nach der halben Versuchsdauer durch neue ersetzt. In allen Fällen wurde die Lösung am Anfang und am Ende titriert und daraus das Mittel genommen; war inzwischen die Lösung erneuert worden, so war das Mittel aus beiden Mitteln der Berechnung zugrunde gelegt worden.

Auch beim Weinstock erkennt man, daß die verschiedenen Individuen sehr ungleich empfindlich sind. In Versuch 23 rief die Konzentration von 1 : 92700 während sechsstündiger Dauer keine Einwirkung hervor. In dem Versuch 22 machten sich die Konzentrationen 1 : 89000, 1 : 112000, 1 : 111000, von denen die beiden letzteren zusammen sechs Stunden, 1 : 89000 am vorhergehenden Nachmittag zwei Stunden einwirkten, in einer Assimilationsverminderung bemerkbar. Wenn diese am zweiten Tage trotz der geringeren Konzentration der Säure bedeutender war als am vorhergehenden, so lag das daran, daß die Versuchsdauer an diesem Tage zu gering war, als daß ein beträchtlicherer Assimilationsabfall in die Erscheinung treten konnte.

In dem Versuch 21 kam eine sehr hohe Konzentration 1 : 33400 zur Anwendung, freilich nur während dreier Stunden. Wenn sich eine Assimilationsverminderung nicht schon während dieses Zeitraumes bemerkbar machte, so ist vielleicht dafür der verhältnismäßig hohe Kohlensäuregehalt der Luft verantwortlich zu machen, der die Assimilationsgröße etwas

gesteigert haben wird. Die Wirkung der Säure macht sich erst voll geltend am Nachmittag dieses Tages. Allerdings ist dies Resultat kein ungetrübtes, da die Verminderung der Assimilation auch schon durch zerstörte Blattzellen mitbedingt sein dürfte, denn am Ende der Versuche war die Pflanze stark beschädigt.

8. Aralia japonica. Es wurde ein Versuch mit einem Topfexemplar ausgeführt (Tabelle 2, Versuch 24) und Gaslicht als Lichtquelle benutzt. Die Lösung des schwefligsauren Natriums wurde stets nur bei Beginn des Versuchs titriert. Da sie verhältnismäßig hoch konzentriert war und immer nur zwei Stunden lief, so ist der Fehler bei der Berechnung der Säurekonzentration nicht ins Gewicht fallend. Es kamen hohe Konzentrationen zur Anwendung und dabei betrug der Assimilationsabfall nur etwa 40%; voraussichtlich wäre er wohl bedeutender geworden, wenn die Säure längere Zeit eingewirkt hätte. Eine Beschädigung der Blätter durch die Säure ist nicht beobachtet worden.

9. Abutilon palmatum. In der Tabelle 2 ist ein Versuch mit einem Topfexemplar aufgeführt. Als Lichtquelle dienten die beiden Bogenlampen. Die Berechnung der Säure, welche allerdings nur drei Stunden eingewirkt hatte, geschah wiederum in der Weise, daß das Mittel aus der Anfangs- und Endtitration der Lösung des schwefligsauren Natriums zur Bestimmung des Gehaltes an schwefliger Säure zugrunde gelegt wurde. Da die Säure nur kurze Zeit einwirken sollte, wurde eine hohe Konzentration gewählt, welche eine Assimilationsverminderung von 40% bewirkte. Eine durch die Säure hervorgerufene Beschädigung der Blätter war nicht zu beobachten, dahingegen waren während des Versuches schließlich vier große und ein kleines Blatt gelb geworden, worauf es vermutlich zurückzuführen ist, daß die alte Assimilationsgröße nicht wieder erreicht wurde. Daß es sich beim Gelbfärben der Blätter nicht um eine Säurewirkung handelte, wurde daraus geschlossen, daß sich ein anderes Exemplar, welches im Laboratorium stand und nicht der Säure ausgesetzt gewesen war, ebenso verhielt.

10. Genista Andreana. Die näheren Angaben über einen mit einem Topfexemplar ausgeführten Versuch sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Säure wirkte während drei Stunden ein und zwar in der Konzentration von 1 : 49600. Eine Herabsetzung der Assimilation ist unverkennbar, sie beläuft sich auf 76%. Am Nachmittag desselben Tages wurde ein normaler Assimilationsversuch ausgeführt, der ein Ansteigen der Assimilation, wenn auch noch nicht bis zur ursprünglichen Höhe, erkennen läßt. Hier liegt noch eine Nachwirkung vor. Da das Ansteigen schon genügend Beweis ist, daß die Assimilation durch die Säurewirkung herabgedrückt ist, wurde am folgenden Tage kein weiterer Assimilationsversuch ausgeführt. Beschädigungen sind an der Pflanze nicht aufgetreten. Die

Lösung des schwefligsauren Natriums wurde am Anfang und am Ende des Versuches titriert, aus beiden Bestimmungen das Mittel gezogen und daraus die Menge der gegebenen schwefligen Säure berechnet.

11. Ficus elastica. Der Versuch 27 in Tabelle 2 wurde mit einem Topfexemplar ausgeführt. Als Lichtquelle dienten die beiden Bogenlampen. Zur Berechnung der schwefligen Säure wurde die Lösung des schwefligsauren Natriums am Anfang und am Ende titriert und aus beiden Bestimmungen das Mittel genommen. Die so berechnete Konzentration 1 : 50000 wirkte etwas über drei Stunden ein und hatte einen derartigen Erfolg, daß eine Assimilation überhaupt ausblieb. Wie aus den aufgeführten Zahlen ersichtlich ist, ist die zugegebene und wiedergefundene Menge Kohlensäure unter Anrechnung der Atmung nicht gleich, sondern die wiedergefundene Menge ist um 54 mg zu groß gefunden worden. Es kann sich dies nur so erklären, daß die wie gewöhnlich berechnete durchschnittliche Atmung für unseren Fall zu niedrig ausgefallen ist. Statt zu 24 mg müßte die mittlere Atmung zu 34 mg angenommen werden. Eine besondere Erwähnung verdient noch die normale Assimilation am ersten Versuchstage. In den Vormittagsstunden beläuft sich die durchschnittliche Assimilationsgröße auf 14 mg, in den Nachmittagsstunden auf 54 mg. Der geringere Wert der Assimilation in den Vormittagsstunden muß auf den geringen prozentischen Kohlensäuregehalt der zugeführten Luft zurückgeführt werden. Wenn die durchschnittliche Atmung sich auf 28 mg beläuft, während der drei Stunden außerdem nur 57 mg Kohlensäure hinzugegeben worden sind, so kann unmöglich die stündliche Assimilationsgröße 54 mg betragen.

12. Cereus grandiflorus. Als Versuchspflanze diente ein kleines Exemplar, welches zur Kontrolle der Wasserabgabe aus dem Blumentopf herausgenommen und mittels eines Gummistopfens fest in ein mit Wasser gefülltes Gefäß gesetzt worden war. Als Lichtquelle dienten wieder die beiden Bogenlampen. Da man auf eine große Assimilation nicht rechnen konnte, war von vornherein, um diese zu steigern, der Gehalt der Luft an Kohlensäure verhältnismäßig hoch gewählt worden, ca. $^1/_4\%$. Scheinbar ist die Assimilationsverminderung unter Einwirkung der Säure 1 : 42000 beträchtlich, doch darf nicht unberücksichtigt bleiben, daß die Menge der wiedergefundenen Kohlensäure etwas zu hoch gefunden worden ist, da die schweflige Säure, welche die Absorptionsröhre passierte, einen Teil der Barytlösung neutralisierte, indem basisches schwefligsaures Baryum gebildet wird. Würde sämtliche zugegebene schweflige Säure sich in der Barytlösung wiederfinden, so würde das bei der angewandten Konzentration bis zu 8 mg Kohlensäure in der Stunde ausmachen, um welche die assimilierte Menge Kohlensäure größer angenommen werden müßte. Dadurch

wird die Assimilationsverminderung erheblich geringer; die Assimilation ist gleich der normalen Assimilation des folgenden Tages. Ob an diesem Tage die ursprüngliche Assimilationsgröße deshalb nicht wieder erreicht wurde, weil die Säure nachwirkt, ist mit Sicherheit nicht zu entscheiden, da der Versuch nicht fortgesetzt wurde. — Bei dieser Gelegenheit muß ich einen früheren Irrtum berichtigen. Das Ergebnis dieses Versuches habe ich in einer kleinen Mitteilung »Über die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen« [1]) bereits veröffentlicht. Hierbei wurde irrtümlicherweise die durch die Barytlösung absorbierte schweflige Säure falsch in Rechnung gestellt, so daß dadurch nur eine Assimilationsgröße von 8,5 mg anstatt etwa 25 mg gefunden wurde. Es muß also für Cereus unentschieden bleiben, ob die Säurekonzentration von 1 : 42000 auf die Assimilation herabmindernd einwirken kann. Derselbe Berechnungsfehler kehrt bei

13. Allium Cepa wieder (Tabelle 2, Versuch 29) und macht auch das Resultat dieses Versuches unbestimmt. Als Versuchspflanze hatte eine Zwiebel gedient, welche, um die Wasserabgabe kontrollieren zu können, in einem Gefäß mit Wasser zur Entwicklung gebracht worden war. Da die assimilierende Oberfläche der Blätter nicht sehr bedeutend war, war eine verhältnismäßig hohe Kohlensäurekonzentration zur Assimilation gewählt worden (0,3—0,5 %). Eine Einwirkung der Säure scheint im Gegensatz zu der früher gemachten Angabe nicht vorhanden zu sein. In den Zahlenangaben in unserem Versuche ist auf die eventuell absorbierte schweflige Säure noch keine Rücksicht genommen worden und doch ist die Assimilationsgröße unter der Einwirkung der Säure ebenso groß wie die normale Assimilation am vorhergehenden Tage. Streng genommen muß dieser Betrag noch etwas erhöht werden, da die absorbierte schweflige Säure, deren genaue Menge man natürlich nicht kennt, nicht vernachlässigt werden kann. Ob die Assimilationsverminderung am dritten Tage eine Nachwirkung der Säure oder rein zufällig ist, kann nicht entschieden werden, da der Versuch nicht fortgesetzt wurde.

Aus den vorstehend mitgeteilten Versuchen, welche mit zwölf verschiedenen Pflanzenarten ausgeführt wurden, darf man wohl den Schluß ziehen, daß die Assimilation im allgemeinen durch die Gegenwart schwefliger Säure ungünstig beeinflußt wird. Auch das Verhalten von Cereus und Allium scheint nicht hiergegen zu sprechen, wenngleich es den Eindruck macht, als ob bei beiden Pflanzen keine Assimilations-

[1]) Ber. d. d. bot. Ges. Bd. 20, 1902, S. 558.

verminderung eingetreten ist. Ganz ausgeschlossen ist aber selbst hier die Assimilationsverminderung nicht, da das weitere Verhalten der betreffenden Pflanzen nicht untersucht wurde; außerdem kann ein einzelner negativer Versuch für die betreffende Pflanzenart nicht entscheidend sein, da auch bei anderen Pflanzenarten so bedeutende individuelle Verschiedenheiten vorhanden sind, daß selbst bei relativ hohen Konzentrationen das eine Exemplar eine Assimilationsverminderung, das andere keine aufweist. Wäre ursprünglich nicht infolge der oben erwähnten Berechnungsfehler der Versuch mit Cereus und Allium deutlich positiv ausgefallen, so würden noch weitere Versuche mit den beiden Pflanzen angestellt worden sein, so ist aber leider der Fehler zu spät, erst beim Zusammenschreiben dieses Manuskripts, bemerkt worden. Sehen wir von diesen beiden Pflanzen ab, so zeigt sich bei den anderen untersuchten Pflanzenarten eine mehr oder weniger bedeutende Beeinflussung der Assimilation durch die Säure; unverkennbar ist die Empfindlichkeit nicht nur der einzelnen Individuen einer und derselben Pflanzenart, sondern auch der verschiedenen Pflanzenarten sehr ungleich. Als sehr empfindlich müssen im allgemeinen die Buche und die Fichte gelten, während die Eiche erst auf Konzentrationen reagiert, welche bei der Buche und Fichte bereits sichtbare Beschädigungen hervorrufen. Mit diesem Verhalten steht ja auch die sonst beobachtete große Widerstandsfähigkeit der Eiche in gutem Einklang. Hohe Konzentrationen wie 1 : 40000 und 1 : 52000 lassen nicht einmal irgendwelche sichtbare Beschädigungen zurück, während bei den meisten anderen Versuchspflanzen solche beobachtet werden.

Das ungleiche individuelle Verhalten der Pflanzen zwang, das ursprüngliche Vorhaben, genau für jede einzelne Pflanzenart die Grenzkonzentration zu ermitteln, bei welcher noch eine Assimilationsverminderung zu beobachten ist, aufzugeben. Ich habe mich deshalb nachher darauf beschränkt, festzustellen, ob eine Assimilationsverminderung überhaupt bei der betreffenden Pflanzenart vorkommt. Eine nähere Erwägung zeigt übrigens, daß die Ermittlung der Grenzkonzentration nur von untergeordneter Bedeutung wäre, da sie eigentlich nur einen Schluß auf die verschiedene Empfindlichkeit der verschiedenen Pflanzenarten zulassen würde. Auch würde die Grenzkonzentration nur für eng begrenzte bestimmte Bedingungen Gültigkeit haben. Die Versuchsdauer ist in allen Fällen eine kurz bemessene und kann es der Natur der Sache nach auch nur sein; sie kann bald etwas länger, bald etwas kürzer gewählt werden, aber es bleiben immer nur kurze Zeiträume. Es ließ sich also die Grenzkonzentration nur für solche Zeiträume feststellen. Wie sich die Assimilation gestaltet, wenn geringere Konzentrationen längere Zeiträume hindurch einwirken, ist ohne weiteres nicht zu entscheiden. Da wir auch bei unseren

Versuchen mehrfach eine Nachwirkung der Säure beobachtet haben, die Assimilationsverminderung bedeutender zu werden scheint, wenn die Säure selbst mit abnehmender Konzentration längere Zeit auf die Pflanze einwirkt, außerdem, wie die Destillationsmethode gezeigt hat, schweflige Säure in den Blättern gespeichert wird, so steht zu vermuten, daß auch durch geringere Säurekonzentrationen bei längerer Einwirkungsdauer noch eine nachteilige Beeinflussung der Assimilationstätigkeit erwartet werden kann. Dem steht allerdings die Möglichkeit gegenüber, daß mit wachsender Verdünnung die Säurekonzentration analog wie bei submersen Wasserpflanzen auch bei den Landpflanzen eine Assimilationssteigerung hervorruft[1]). Mit Sicherheit habe ich in meinen Versuchen eine derartige Steigerung nicht beobachten können.

Wenn wir von wenigen Fällen absehen, wie z. B. von Ficus, ist die Assimilationsverminderung niemals so bedeutend gewesen, daß die assimilierte Kohlensäuremenge gleich Null wurde. Dies Ergebnis ist ziemlich überraschend, und es fragt sich, ob wir hierin den richtigen Ausdruck der tatsächlichen Verhältnisse haben. Wird die Assimilation überhaupt von der schwefligen Säure ungünstig beeinflußt, so wird man erwarten dürfen, daß ebenso wie bei anderen Agentien die Chloroplasten ihre Tätigkeit vollständig einstellen, wenn die entsprechende Konzentration einwirkt. Ob das der Fall ist, gestatten unsere Zahlen nicht zu entscheiden. Wenn es der Fall ist, was nach Analogie erwartet werden muß, so müßten die von uns ermittelten Zahlen nur das Ergebnis gleichzeitiger normaler und sistierter Assimilation sein. Selbst in dem beschränkten Volumen von 27 Litern haben wir noch nicht die Sicherheit, daß alle Partien der Pflanze gleichmäßig von der Säure getroffen werden, sondern vermutlich sind auch hier Strömungen vorhanden. Es werden sich also immer Teile finden, welche von der Einwirkung der Säure verschont bleiben. Wenn 100 Einheiten normal, 100 Einheiten gar nicht assimilieren, so muß das Gesamtergebnis eine Assimilationsverminderung von 50% sein. Es wird von der einwirkenden Konzentration abhängen, wie sich das Verhältnis von assimilierender und nicht assimilierender Substanz gestaltet. Mit wachsender Konzentration muß alsdann auch die Assimilationsverminderung zunehmen, ohne gleich Null zu werden. Null wird nur erreicht werden, wenn die Blattmasse unter der Glocke gering ist, so daß sie allseitig gleichmäßig von der Säure umflossen wird. Mir erscheint diese Erklärung der Assimilationsverminderung die natürlichste zu sein, auch steht sie mit anderen bekannten Tatsachen in gutem Einklang und vermag die etwaigen

[1]) Treboux, Einige stoffliche Einflüsse auf die Kohlensäureassimilation bei submersen Pflanzen. Flora, Bd. 92, 1903.

Widersprüche in den Versuchen am besten zu erklären. Ob es sich aber so verhält, wie hier angenommen wird, ist nicht zu entscheiden. Man könnte ja auch daran denken, daß die assimilatorische Tätigkeit der einzelnen Chloroplasten je nach der Menge der absorbierten Säure, welche wiederum von der einwirkenden Konzentration abhängig sein müßte, mehr oder weniger herabgestimmt wäre. Wenn sich die Chloroplasten der genannten Blattmasse gleich verhielten, so müßte der Gesamteffekt gleichfalls eine Assimilationsverminderung sein, die nun in direkter Abhängigkeit von der Konzentration der angewandten Säure stehen würde. Nur unter dieser Voraussetzung könnte durch Steigerung der Säurekonzentration oder durch Ausdehnung der Wirkungsdauer die Assimilation auf Null herabgedrückt werden.

Einen befriedigenden Schluß, wie die Assimilation durch die Säure beeinflußt wird, wenn sie anhaltend und in geringer Konzentration auf die Pflanze einwirkt, kann aus den obigen Versuchsergebnissen nicht gezogen werden. Hierfür scheinen mir besonders eingerichtete Versuche erforderlich, die auch unternommen wurden, aber teils an der Nachlässigkeit des betreffenden Beobachters, teils an den technischen Schwierigkeiten gescheitert sind. Dieselbe Versuchsanstellung, wie sie für die Laboratoriumsversuche diente, wurde für Versuche im Freien gewählt. Es kamen Topfpflanzen zur Anwendung, deren Assimilationsgröße vor und nach dem Versuch im Laboratorium bei konstanter Lichtquelle ermittelt werden konnte. So konnte festgestellt werden, ob durch die dauernde Einwirkung der Säure die Assimilation dauernd herabgesetzt war. Hierbei konnten mehrere Apparate hintereinander geschaltet werden, welche durch dieselbe Wasserstrahlluftpumpe im Garten bedient wurden. Die Hauptschwierigkeit bei derartigen Versuchen bietet das Licht, welches in den Glocken eine zu hohe Temperatur hervorruft, oder welches, um diesen Nachteil aufzuheben, sehr stark abgeblendet werden muß und dadurch wieder stark geschwächt wird. Auch das Dichten der Glocke auf der Glasplatte ist mit Schwierigkeiten verknüpft; ferner ist die reichliche Ansammlung von Wasser, welches während der Assimilation ausgehaucht wird, in der Glocke sehr störend. Aber über diese Schwierigkeiten wäre schließlich mit dem nötigen Aufwand von Geld und Zeit hinwegzukommen. Da meine Versuche gescheitert sind, ist die aufgeworfene Frage noch unbeantwortet geblieben. Als Surrogat habe ich einen Versuch mit einer Topfbuche ausgeführt, welche in das Räucherhaus gestellt und hier mit anderen Pflanzen zusammen mit schwefliger Säure beräuchert wurde. Am 29. August 1902 wurde in einem vier Stunden dauernden Versuch im Laboratorium bei elektrischem Licht die Assimilationsgröße für die Stunde auf 57 mg festgestellt. Am 22. September wurde die Buche wieder aus

dem Räucherhaus herausgenommen und unter denselben Umständen bei elektrischem Licht in einem fünfstündigen Versuch auf ihre Assimilation untersucht. Sie assimilierte stündlich 55 mg Kohlensäure. Das assimilatorische Vermögen ist also durch den dreiwöchentlichen Aufenthalt in einer Atmosphäre von schwefliger Säure nicht herabgesetzt worden. Ich halte aber diesen Versuch nicht für ausreichend, um die Frage zu entscheiden, da man niemals genau den Gehalt des Räucherhauses an Säure kennt, und außerdem durch die vorhandenen Strömungen die Pflanzen je nach ihrer Stellung in dem Hause sehr ungleich beeinflußt werden. Entscheidend würden nur die Versuche nach der anderen Methode sein.

Die Frage, ob eine Pflanze aus einer Atmosphäre verdünnter schwefliger Säure, wenn sie etwa wochen- oder monatelang auf sie einwirkt, genügend schweflige Säure speichern kann, so daß ihre Assimilation wesentlich beeinflußt wird, ist natürlich für die praktische Seite der Rauchbeschädigungen von großer Bedeutung, und es ist deshalb zu bedauern, daß meine Versuche gescheitert sind. So viel steht fest, daß dieselben Konzentrationen, welche in unseren Versuchen eine Assimilationsverminderung hervorrufen, auch eine solche im Freien bewirken müssen. In der Nähe der Rauchquellen wird neben anderen Beschädigungen durch die Säure in den meisten Fällen auch eine Assimilationsverminderung mit im Spiele sein. Nur wenn die Empfindlichkeit der Pflanze sehr gering ist, wird sie nicht oder nicht erheblich zum Vorschein kommen. Die unbedeutende Assimilationsverminderung, welche nach unseren Versuchen die Eiche aufweist, erleichtert es ihr gewiß, sich als Stockausschlag in unmittelbarer Nähe der Hütten zu halten, wie es im Eschweilerer Walde bei Stolberg i. Rh. und auf dem Burgberg bei Lethmathe beobachtet wird. Auch in der Nähe der Clausthaler Hütte hat sich viele Jahre hindurch derartiges Gestrüpp gehalten.

Bei empfindlicheren Holzarten muß sich selbstverständlich die Beeinflussung der assimilatorischen Tätigkeit durch die Säure auf eine weitere Strecke von der Rauchquelle hin bemerkbar machen. Wie aus meinen Versuchen hervorgeht, läßt sich bei der Rotbuche selbst bei einer Verdünnung von ca. 1 : 300000 noch eine ansehnliche Assimilationsverminderung beobachten. Daß solche Konzentrationen in der Praxis nicht vernachlässigt werden dürfen, sondern daß sie noch auf viel weitere Entfernung von der Rauchquelle herrschend sind, als man vielleicht geneigt ist, anzunehmen, davon habe ich mich durch entsprechende Luftanalysen im Probsteywald bei Stolberg i. Rh. überzeugt[1]), worauf später näher ein-

[1]) Siehe den Abschnitt über den »Gehalt der Luft an schwefliger Säure in Rauchschadengebieten«.

gegangen werden soll. Hier mag nur erwähnt werden, daß in ca. 3 km Entfernung von der Rauchquelle noch höhere Konzentrationen zu beobachten waren, als sie in obigem Versuche zur Anwendung kamen. Wenn man nun anzunehmen berechtigt wäre, daß die Buche aus einer Atmosphäre, welche weniger schweflige Säure enthielt als 1 : 300000, soviel zu speichern vermöchte, daß der Effekt der gleiche würde, als wenn sie sich kurze Zeit in einer Konzentration von 1 : 300000 aufhielte, so müßte sich die Assimilationsverminderung noch weiter als 3 km erstrecken; sie müßte sich dann aber auch in Gegenden, wo der Gehalt der Luft an schwefliger Säure gering ist, auf große Entfernungen bemerkbar machen können.

In ähnlicher Weise, nur noch in viel höherem Grade als in unseren Versuchen, wird der Baum im Freien ungleichmäßig von der Säure affiziert werden. Diejenigen Teile, welche der freien Luftbewegung am meisten ausgesetzt sind, werden auch am meisten von der Säure getroffen werden, also die Krone, während die tieferen Partien meistens, wenigstens im Walde, durch die niederen Stämme und das Unterholz geschützt sind. Selbst die Blätter der Krone werden nicht gleichmäßig von der Säure getroffen, die dem Winde ausgesetzten müssen stärker von ihr beeinflußt werden, als die im Windschatten stehenden. Nicht minder wird das Geäst Strömungen in der Luft hervorrufen, wodurch die einzelnen Blätter sehr ungleich von der Säure getroffen werden können. In der ungleichmäßigen Beeinflussung der Blätter möchte ich eine der Ursachen erblicken, warum es nicht gelingen wollte, im Freien mit der Sachs'schen Jodprobe die Assimilationsverminderung einwandsfrei nachzuweisen.

III. Ist die Assimilationsverminderung durch eine Beeinflussung der Chloroplasten oder durch einen Verschluß der Spaltöffnungen unter Einwirkung der schwefligen Säure bedingt?

Im vorstehenden wurde als selbstverständlich angenommen, daß die Assimilationsverminderung auf eine direkte Beeinflussung der Chloroplasten zurückzuführen sei, weil durch die Untersuchungen von Boussingault und Ewart bekannt ist, daß sie bei Einwirkung bestimmter Stoffe untätig werden. Es war nur natürlich, die schweflige Säure nach obigem Befunde den anderen Stoffen anzureihen. Nun darf aber nicht übersehen werden, daß sich eine derartige Assimilationsverminderung auch auf andere Weise erklären lassen würde. Wenn sich unter Einwirkung der schwefligen Säure die Spaltöffnungen schließen würden, müßte gleichfalls das Ergebnis eine Assimilationsverminderung sein. Erschien diese Voraussetzung auch nicht sehr wahrscheinlich, so mußte sie doch auf ihre Richtigkeit geprüft

werden. Am meisten wurde diese Möglichkeit nahegelegt durch die Fälle, wo die Assimilation unter Einwirkung der Säure gleich Null geworden war, ohne daß irgend eine wahrnehmbare Beschädigung der Blätter zu bemerken gewesen wäre. Dies Verhalten konnte sich zwanglos auf beide Weisen erklären. Die Entscheidung, ob die Spaltöffnungen unter Einwirkung der schwefligen Säure geschlossen oder wenigstens verengert werden, ist nicht ganz leicht zu treffen. Die direkte Untersuchung der Spaltöffnungen ist hier nicht immer entscheidend, weil sich meistens die beweglichen Spaltöffnungen in allen Stadien der Öffnung finden, in anderen Fällen, wie z. B. bei der Fichte, es durch die direkte mikroskopische Untersuchung überhaupt noch nicht gelungen ist, festzustellen, ob die Pflanze bewegliche Spaltöffnungen hat. Da es unter allen Umständen schwierig war, durch die direkte mikroskopische Prüfung sicher zu entscheiden, ob die Spaltverengerung eine derartige ist, daß die Assimilationsverminderung auf den Spaltenschluß zurückzuführen ist, habe ich außer der direkten Beobachtung noch andere Methoden befolgt. Ganz entscheidend für unsere Frage muß es sein, wenn die Assimilationsverminderung unter Einwirkung der Säure auch bei solchen Pflanzen auftritt, von denen feststeht, daß sie stets geöffnete Spaltöffnungen besitzen, daß ihnen also ein Bewegungsmechanismus fehlt. Über Verengerung der Spalten bei Einwirkung der Säure müssen die Transpirationsverhältnisse Aufschluß geben. Ich habe deshalb eine größere Reihe von Versuchen hinsichtlich der Transpiration angestellt und habe in Verbindung damit in vielen Fällen auch die Wasseraufnahme geprüft. Diese beiden Punkte haben nämlich noch ein besonderes Interesse. Nach den Untersuchungen von v. Schroeder[1]) soll die Wasserabgabe und Wasseraufnahme insofern durch die Einwirkung von schwefliger Säure beeinflußt werden, daß die Wasserabgabe vermindert und die Wasseraufnahme verzögert wird. Diese Versuchsergebnisse sind ohne weitere Prüfung von Rob. Hartig[2]) zur Grundlage einer Theorie gemacht worden, welche die chronische Beschädigung namentlich der Fichte erklären sollte. Bei solcher weittragenden Bedeutung war es wünschenswert, die Ergebnisse der v. Schroeder'schen Versuche einmal gründlich nachzuprüfen.

A. Direkte mikroskopische Prüfung.

Bei Taxus und Fichte ist es mir nicht möglich gewesen, zu entscheiden, ob die Spalten stets geschlossen oder stets ein wenig geöffnet

[1]) v. Schroeder u. Reuß, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Berlin 1883.

[2]) Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauchs auf die Gesundheit der Nadelwaldbäume. Forstl. naturwiss. Zeitschrift 1896.

waren. Hinsichtlich der Fichte ist es anderen Forschern nicht anders gegangen.

Auch unter den Laubhölzern, welche zu unseren Untersuchungen gedient haben, eignen sich die wenigsten zur Entscheidung der Frage. Ein gutes Untersuchungsobjekt ist Prunus Laurocerasus. Mit Zweigen von dieser Pflanze wurden mehrere Versuche, teils Assimilationsversuche, teils Versuche über Wasserabgabe und -aufnahme angestellt. Hierbei wurde dann der Spaltöffnungsapparat untersucht. In allen Versuchen kam nur künstliche Beleuchtung zur Anwendung; sie wurden mitten im Winter, im Dezember, ausgeführt. Blätter, welche direkt, nachdem sie aus dem Freien hereingeholt worden waren, untersucht wurden, zeigten offene Spaltöffnungen. Nach Stahl[1]) sollte man vermuten, daß sie geschlossen sein müßten, da die immergrünen Gewächse bei uns im Winter geschlossene Spaltöffnungen haben sollen, wenn er auch Prunus Laurocerasus nicht namhaft macht. In Versuchen, wo Beleuchtung und Dunkelheit miteinander wechselten, konnte festgestellt werden, daß die Spaltöffnungen sich auch im Winter zu öffnen und zu schließen vermochten. Übrigens konnte man durch geeignete Mittel auch unter dem Mikroskop die Spaltöffnungen zum Schließen bringen. Die mikroskopische Untersuchung von Blättern, welche ohne Säure bei künstlicher Beleuchtung, und solchen, welche mit Säure assimilierten, ergab immer dasselbe Resultat. Ein Unterschied in der Öffnung der Spalten, der durch die Säurewirkung bedingt wäre, war nicht festzustellen. Um einen möglichst vollkommenen Spaltenverschluß, wenn er überhaupt eintritt, durch die Säure hervorzurufen, wurden verhältnismäßig hohe Konzentrationen angewendet, bei denen sicher eine Beeinflussung der Assimilation erwartet werden konnte. Selbst Blätter wurden in die Untersuchung gezogen, an welchen Beschädigungen infolge zu hoher Konzentrationen aufgetreten waren. Aber überall war das Ergebnis das gleiche. Ein Unterschied zwischen den mit Säure behandelten und nichtbehandelten Blättern konnte niemals festgestellt werden. Selbstverständlich waren neben in allen Graden geöffneten Spaltöffnungen auch geschlossene vorhanden, was deutlich hervortrat, als in einem Fall die Kobaltprobe angewendet wurde. Ein Blatt eines mit so hoher Konzentration (1 : 6000) behandelten Zweiges, daß Beschädigungen auftraten, ließ das Papier an der Stelle rot färben, wo es beschädigt war, während an den anderen Stellen die Rotfärbung ausblieb. An diesen Stellen waren die Spaltöffnungen geschlossen, während sie an den beschädigten Partien offen waren, wie die mikroskopische Untersuchung ergab. Der Spaltenschluß dürfte hier schon vor Beginn des Versuches vorhanden gewesen, und das Auftreten der

[1]) Vergl. S. 179.

Beschädigungen nur dem Umstande zuzuschreiben sein, daß an den betreffenden Stellen die Spaltöffnungen nicht geschlossen waren. Bei einer Tötung der Schließzellen durch die Säure werden die Spalten nicht einmal geschlossen. Man kann sich unter dem Mikroskop leicht davon überzeugen, daß, wenn man die Schließzellen etwa durch Chlorzinkjod oder andere Mittel tötet, ein Spaltenschluß nicht erfolgt, daß sich aber andererseits geschlossene Spaltöffnungen beim Tode auch nicht wieder öffnen.

Mit einer Gartenvarietät von Ilex aquifolium wurde auch ein vergleichender Versuch mit Säure und ohne Säure im Licht ausgeführt, und zwar am 31. Dezember 1901. Auch hier ergaben die Blätter für beide Fälle gleiches Verhalten der Spaltöffnungen: Spalten schwach geöffnet. Mit Sicherheit konnte kein Unterschied in der Spaltenweite beobachtet werden.

In allen diesen Fällen waren verhältnismäßig hohe Konzentrationen der Säure zur Anwendung gekommen. Vermögen diese keinen Einfluß auf den Spaltöffnungsmechanismus auszuüben, so dürfen wir wohl mit Sicherheit annehmen, daß Konzentrationen von ca. 1 : 250000, wie sie bei anderen Pflanzen eine Assimilationsverminderung zu bewirken vermögen, erst recht ohne Einfluß auf den Spaltöffnungsmechanismus sind.

Für Prunus Laurocerasus und Ilex aquifolium kann ich auf Grund direkter Untersuchung behaupten, daß die schweflige Säure ohne Einfluß auf den Spaltöffnungsmechanismus ist. Mit großer Wahrscheinlichkeit darf man deshalb schließen, daß auch bei anderen Pflanzen der Spaltöffnungsapparat unbeeinflußt bleibt. Ich habe mich nun noch bemüht, die Frage auch an anderen Laubhölzern unter meinen Versuchspflanzen, namentlich an der Buche und Eiche, zu entscheiden. Aber alle meine darauf gerichteten Bemühungen haben mich nicht zu einem sichern Resultat geführt. Bei der Kleinheit der Objekte würde man hier ein brauchbares Resultat nur erhalten, wenn die Spalten vollständig offen oder vollständig geschlossen wären. Aber vielfach sind auch bei dem normalen Assimilationsversuch die Spalten nicht vollständig geöffnet. Auch verhalten sich an einem Blatte die Spaltöffnungen sehr ungleich. Mehr als einmal habe ich auf den Präparaten feststellen können, daß die Spalten verschiedener Spaltöffnungen ungleich weit geöffnet waren. Unter diesen Umständen wird es unmöglich, zu entscheiden, ob die Beweglichkeit der Schließzellen bei diesen Pflanzen von der Säure beeinflußt wird. Schließlich habe ich davon Abstand genommen, diese Untersuchungen fortzusetzen, und habe lieber den Versuch gemacht, die Frage auf andere Weise, etwa aus dem Verhalten den Transpirationsverhältnissen gegenüber zu entscheiden. Als wahrscheinlich muß es auf Grund der direkten mikroskopischen Beobachtungen an Prunus und Ilex betrachtet werden, daß der Spaltöffnungs-

mechanismus der Pflanzen überhaupt nicht von der schwefligen Säure beeinflußt wird, vor allen Dingen aber nicht bei Konzentrationen, welche für chronische Beschädigungen in Betracht kommen.

B. Tritt bei mangelnder Bewegungsfähigkeit des Spaltöffnungsapparates eine Assimilationsverminderung auf?

Tritt die Assimilationsverminderung unter Einwirkung schwefliger Säure auch bei solchen Pflanzen auf, welche stets offene Spaltöffnungen haben, so darf es als erwiesen betrachtet werden, daß sie auf eine direkte Beeinflussung der Chloroplasten durch die Säure zurückzuführen ist.

Nach den Untersuchungen von Stahl[1]) gehören zu diesen Pflanzen unter den Holzgewächsen Betula alba, Alnus glutinosa und die Salixarten. Ich habe deshalb einige Versuche mit Betula alba und der Weide angestellt (Tabelle 2, Versuch 17—20). Für beide Pflanzen läßt sich eine Assimilationsverminderung konstatieren. Bei der Birke ergab der Versuch folgende Werte:

ohne Säure	72 mg CO_2
1 : 140000	56 mg CO_2
ohne Säure	70 mg CO_2

Sind nachträglich auch an einigen Blättern Beschädigungen aufgetreten, so ist doch nach der Einwirkung der Säure die normale Assimilation auf die alte Höhe hinaufgestiegen, womit der Beweis erbracht ist, daß die Assimilationsverminderung nicht durch Absterben von Zellen bedingt ist. Auch in den drei Versuchen mit der Weide liegt eine zum Teil erhebliche Assimilationsverminderung vor, nur daß es hier nicht durchaus einwandfrei ist, daß sie lediglich auf einer Inaktivierung der Chloroplasten beruht. Bei dem Versuch 18 muß es zweifelhaft bleiben, ob an dem Assimilationsabfall von 44 auf 12 lediglich die Chloroplasten beteiligt sind, oder ob er zum Teil auf das Absterben von Zellen zurückzuführen ist. Dahingegen ist es im Versuch 19 ganz klar, daß wenigstens ein Teil der Assimilationsverminderung auf einer Inaktivierung der Chloroplasten beruht, da die zweite normale Assimilation ausgeführt wurde, als die Beschädigungen bereits aufgetreten waren. Da dennoch die Assimilation wieder ansteigt, wenn auch nicht bis zur ursprünglichen Höhe, so muß die Verminderung wenigstens zum Teil auf eine Beeinflussung der Chloroplasten zurückgeführt werden. Ebenso ist in Versuch 20 die Assimilationsverminderung der Inaktivierung der Chloroplasten zuzuschreiben. Alsdann wird man aber auch für Versuch 18 annehmen dürfen, daß der Assimilationsabfall größtenteils der Untätigkeit der Chloroplasten auf die Rechnung zu setzen ist.

[1]) Bot. Ztg. 1894, S. 124.

Der sichere Nachweis, daß bei Pflanzen ohne beweglichen Spaltöffnungsapparat unter Einwirkung der schwefligen Säure eine Assimilationsverminderung beobachtet wird, lehrt unzweifelhaft, daß es sich bei dieser um eine Beeinflussung der Chloroplasten durch die Säure handeln muß. Und diese Auffassung findet eine Stütze darin, daß die spaltöffnungsfreie Wasserpest gleichfalls unter Einwirkung der Säure eine Assimilationsverminderung aufweist.

IV. Die Beeinflussung der Transpiration und der Wasseraufnahme durch die schweflige Säure.

Wenngleich v. Schroeder durch seine Versuche festgestellt zu haben glaubte, daß für die Aufnahme der Säure durch die Blätter die Spaltöffnungen belanglos seien, die Säure vielmehr ebenso schnell durch die spaltöffnungsfreie wie durch die mit Spaltöffnungen versehene Oberhaut eindringen sollte, so beobachtete er doch auch andererseits, daß die Blattunterseite besonders empfindlich gegen die schweflige Säure war. Für diese Erscheinung suchte er nach einer Erklärung und fand sie in einer Beeinflussung der Wasserbewegung. »So lag die Vermutung nahe, daß diejenige Funktion, welche ganz vorherrschend von der mit Spaltöffnungen besetzten Blattunterfläche ausgeübt wird, bei Einwirkung des Gases auf die ganze Pflanze zerstört und in ihrem Verlaufe verändert sein muß. Diese Funktion ist die Wasserverdunstung und die angestellten Versuche bestätigten die betreffende Vermutung vollkommen« [1]).

Seine Versuche hat v. Schroeder in folgender Weise ausgeführt. Sie wurden lediglich mit Zweigen angestellt. »Zwei möglichst gleich ausgesuchte Zweige desselben Baumes wurden, nachdem ihr Gewicht vorher bestimmt war, je durch die Öffnung zweier doppelt durchbohrter Kautschukkorke geschoben und diese auf zwei ganz gleiche mit destilliertem Wasser gefüllte Glasgefäße gepaßt: Mit der zweiten Öffnung des Korkes standen je zwei Chlorcalciumrohre in Verbindung, so daß die Luft in das Gefäß eindringen konnte. Zuerst wurde das Gefäß mit dem Zweige und dem einen Chlorcalciumrohr gewogen, dann das andere Rohr angesetzt und der Zweig zur Verdunstung sich selbst überlassen. Darauf wurde nach Ablauf einiger Zeit das letztere Rohr wieder abgenommen und der ganze Apparat gewogen. Die Gewichtsdifferenz mußte die Menge des durch die Blätter verdunsteten Wassers ergeben. Waren die Apparate mit den Zweigen und Röhren zusammengesetzt, so kam der eine auf eine Zeitlang

[1]) v. Schroeder u. C. Reuß, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Berlin 1883, p. 72.

unter das Glasgehäuse, in welchem schweflige Säure meist durch freiwillige Abdunstung aus einer wässerigen Lösung sich in der Luft verbreitete. Später wurde das Glasgehäuse entfernt und die Verdunstung beider Zweige eine Zeitlang durch Wägungen beobachtet. Nach Abschluß des Versuches ist bei beiden Zweigen nochmals das Gewicht bestimmt, dann die Oberfläche der Blätter gemessen und in einigen Fällen auch die Zunahme des Schwefelsäuregehaltes festgestellt worden.«

Ein Beispiel mag die Ausführung der Versuche erläutern. Von zwei kräftigen Spitzahorntrieben A und B ist der Zweig B etwas über sechs Stunden schwefliger Säure (1 : 1000) ausgesetzt gewesen.

A wog vor dem Versuch	38,05 g
A wog nach dem Versuch	31,00 g
Gewichtsverlust	7,05 g
A nahm Wasser auf während der Versuchsdauer	26,00 g
Transpirierte Wassermenge	33,05 g
B wog vor dem Versuch	34,85 g
B wog nach dem Versuch	39,30 g
Gewichtszunahme	4,45 g
B nahm Wasser auf während der Versuchsdauer	12,60 g
Transpirierte Wassermenge	8,15 g
Die Oberfläche der Blätter von Zweig A . . .	996 qcm
Die Oberfläche der Blätter von Zweig B . . .	1187 qcm

Die transpirierte Wassermenge auf gleiche Blattoberfläche berechnet, betrug für 1000 qcm bei A 26,10 g, bei B 6,87 g. Die verdunsteten Wassermengen verhielten sich also wie 3,8 : 1.

In diesem Versuch wie in allen gleichartigen ist immer vorausgesetzt worden, daß die Übereinstimmung in den zum Versuch gewählten Zweigen so groß ist, daß beide Zweige unter normalen Verhältnissen die gleiche Menge Wasser transpiriert haben würden, wofür keine Gewähr gegeben ist. Die individuellen Verschiedenheiten könnten so bedeutend sein, daß die Ergebnisse dieses Versuches tatsächlich auf solche zurückzuführen wären. Dieser Punkt ist von v. Schroeder nicht geprüft worden, und so wird die Beweiskraft seiner Versuche erheblich beeinträchtigt. Daß diese individuellen Verschiedenheiten aber volle Beachtung verdienen, läßt sich am klarsten an einem v. Schroeder'schen Versuche selbst zeigen. 16½ Stunden lang stand ein Tannenzweig unter Einwirkung von schwefliger Säure 1 : 10000, dann wurde die Wasserabgabe dieses Zweiges und eines Kontrollzweiges, welcher außerhalb des Räucherkastens zugebracht hatte, für neun Stunden ermittelt. Die Wasserabgabe betrug ohne Säure 3,60 g,

mit Säure 3,21 g; unter der Einwirkung der Säure war also 0,39 g weniger transpiriert worden. Die transpirierten Mengen verhielten sich wie 100 : 89. Nun wurde der erste Tannenzweig wieder $3^1/_2$ Stunden der Säure ausgesetzt und zwar einer Konzentration von 1 : 5000. Man beobachtete die beiden Zweige noch 5 Tage und bestimmte alsdann die während dieses Zeitraumes abgegebene Wassermenge. Sie betrug ohne Säure 15,87 g, mit Säure 16,38 g, die Mengen verhielten sich also wie 100 : 103. Irgendwelche Beschädigungen waren nicht aufgetreten. Die beiden Zweige waren während der ganzen Versuchsdauer im Dunkeln gehalten worden. Der Widerspruch in der Wasserabgabe zwischen dem ersten und zweiten Teil des Versuches zeigt wohl unwiderleglich, daß hier überhaupt keine Säurewirkung im Spiele ist, sondern daß es sich nur um individuelle Verschiedenheiten handelt. Diese Ergebnisse hätten v. Schroeder stutzig machen und ihn veranlassen müssen, den individuellen Differenzen sein Augenmerk zuzuwenden. Nun wird man vielleicht berechtigt sein, diese zu vernachlässigen, wenn bei einer größeren Reihe von Versuchen alle im gleichen Sinne ausfallen. Wieviele Versuche v. Schroeder angestellt hat, gibt er nicht an. Er führt noch einige Versuche mit Ahorn detailliert an, im übrigen erwähnt er, daß er mit gleichem Ergebnis ganz ähnliche Versuche mit Eichen- und Rotbuchenzweigen, mit Wurzelschößlingen der edlen Kastanie und mit Tannenzweigen angestellt habe. Vermutlich kam dieselbe Konzentration wie in den Spitzahornversuchen, also 1 : 1000, zur Anwendung. Auch bei geringeren Konzentrationen sollen dieselben Erscheinungen auftreten; diese geringeren Konzentrationen bewegten sich zwischen den Verhältnissen 1 : 5000 und 1 : 10000. Auch das sind noch sehr hohe Konzentrationen, wie sie in den Rauchschadengebieten wohl niemals auftreten, jedenfalls niemals dort wirksam werden, wo die chronischen Beschädigungen rein beobachtet werden. Wenn v. Schroeder sich dennoch darauf beschränkt hat, ausschließlich mit so hohen Konzentrationen zu experimentieren, so dürften ihn dabei die Erwägungen geleitet haben, daß bei stärkeren Verdünnungen die Versuche sehr viel mühsamer, schwieriger und zeitraubender und die Versuchsergebnisse weniger drastisch sind. Übrigens ist v. Schroeder der Meinung, daß man aus den Versuchsergebnissen mit hohen Konzentrationen verschiedener Höhe auf die Wirkungen starker Verdünnungen schließen darf, indem »die geringen, aber stetig wirkenden Säuremengen« schließlich ebenso wirken sollen, wie die kurze Zeit wirksamen hohen Konzentrationen. Eine Bestätigung dieser Auffassung erblickt er darin, daß in seinen Versuchen die transpirierte Wassermenge mit wachsender Konzentration der einwirkenden Säure abnimmt, wie das durch ein Beispiel veranschaulicht wird. Drei möglichst gleiche Spitzahornzweige A, B und C werden $5^1/_2$ Stunden lang folgendermaßen behandelt. Auf A

wirkt keine Säure ein, auf B eine Konzentration von 1 : 8300 und auf C eine solche von 1 : 1666. Innerhalb 46 Stunden hatten die Zweige folgende Wassermengen, auf 1000 qcm Blattfläche berechnet, verdunstet:

A	B	C
25,19 g	18,62 g	13,85 g,

was einem Verhältnis von 100 : 74 : 55 entspricht. »Wir können daher wohl folgern, daß in der Natur die Wirkungen kleinerer aber stetiger mit den Pflanzen durch den Rauch in Berührung kommender Mengen schwefliger Säure zu einem qualitativ gleichen Effekt sich summieren müssen, und daß auch hier wie bei unserem Versuche eine Störung der Transpiration und gesamten Wasserzirkulation hervorgebracht werden muß.« Diese Schlußfolgerung kann man wohl nicht als ganz zutreffend bezeichnen. Aus dem angezogenen Versuch geht zunächst nur hervor, daß mit Abnahme der Konzentration die Transpiration wächst, aber nicht, in welchem Verhältnis die Transpiration bei abnehmender Konzentration der Säure wieder zunimmt. Einmal muß ein Gehalt an Säure eintreten, bei welchem die Transpiration nicht mehr beeinflußt wird. Bei welcher Konzentration liegt dieser Punkt? Dafür fehlt jeder Anhalt, ist auch nicht dem Versuche zu entnehmen. Diese Grenze könnte bei 1 : 100000, könnte aber vielleicht auch bei 1 : 1000000 liegen. Da »über die eigentliche innere Ursache der schädlichen Wirkung überhaupt nichts Sicheres bekannt ist«, so ist auch von vornherein theoretisch nicht zu schließen, bei welcher Konzentration die Einwirkung der Säure aufhört. Diese Grenzkonzentration hätte empirisch ermittelt werden müssen, sollten doch gerade diese Untersuchungen dazu beitragen, Licht auf die Wirkungsweise der Säure zu werfen. Nun können alle die nach der von v. Schroeder beliebten Methode angestellten Versuche nur verhältnismäßig kurze Zeit dauern, weil in den Zweigen Veränderungen vor sich gehen, die zu einer Verminderung der Wasseraufnahme führen. Man kann deshalb die Grenzkonzentration immer nur für eine kurze Versuchsdauer ermitteln; nur für diesen Zeitraum hätte zunächst die Grenzkonzentration Gültigkeit. Nun wird aber die Säure in den Blattorganen gespeichert, wie aus unseren Untersuchungen hervorgeht und von v. Schroeder vorausgesetzt wurde, und es muß sich also die Grenzkonzentration verschieben, wenn die Säure einen viel längeren Zeitraum hindurch einwirkt. Konsequenterweise wird man annehmen müssen, daß die Wirkung der Säure erst dann zur Geltung kommen kann, wenn soviel in den Blättern aufgehäuft ist, wie der Aufnahme aus der Grenzkonzentration in kürzeren Zeiträumen entsprechen würde. Je verdünnter die Säure war, welche einwirkt, umso langsamer muß dieser Grad erreicht werden, und wenn etwa die gespeicherte Säure wieder verarbeitet wird, so könnte eventuell dieser Punkt bei manchen Konzentrationen nie

erreicht werden. Scheinbar können wir aus den kurz dauernden Versuchen niemals einen Schluß ziehen auf die Verhältnisse, wie sie bei langer Einwirkung der Säure in den Rauchschadengebieten statthaben, aber das ist nur scheinbar. Stellt sich nämlich heraus, daß die Grenzkonzentration in den Versuchen bereits hoch liegt, so darf man wohl schließen, daß in Gegenden mit stark verdünnter Säure in der Luft niemals die Grenzkonzentration durch anhaltende Speicherung der Säure aus der Luft erreicht werden kann, daß mithin an diesen Stellen die nachteilige Wirkung der schwefligen Säure nicht in einer Beeinflussung der Wasserbewegung bestehen kann. Würde man z. B. finden, daß bei einer Versuchsdauer von 6 Stunden die Grenzkonzentration bei 1 : 20000 liegt, so ist die Wahrscheinlichkeit nicht groß, daß an den Stellen, wo die chronischen Schäden auftreten, wo vielleicht eine Konzentration von 1 : 500000 herrscht, die Grenzkonzentration erreicht wird, denn aus einer verdünnteren Säure wird auch verhältnismäßig langsamer die Speicherung erfolgen.

Die vorstehenden Erörterungen beziehen sich auf den Fall, daß man berechtigt ist, aus den Versuchen von v. Schroeder in der Tat den Schluß zu ziehen, den er selbst daraus gezogen hat, daß die Wasserbewegung durch die Säure beeinflußt wird. Eine Verminderung der Transpiration ist aus den aufgeführten Zahlen unverkennbar, aber entscheidend ist doch, wie wir uns die Wirkung der Säure vorzustellen haben. Hierüber kommt v. Schroeder zu keiner präzisen Vorstellung; bei ihm hat die Beeinflussung der Transpiration und der Wasseraufnahme durch die Säure einen gewissen mystischen Charakter, und dieser mystische Charakter hat ihn augenscheinlich auch zu seinen weitgehenden Schlußfolgerungen veranlaßt. Da v. Schroeder sich überzeugt zu haben glaubte, daß bei dem Eindringen der Säure in die Blätter die Spaltöffnungen keine Rolle spielen, sind sie augenscheinlich seiner Meinung nach auch bei der Beeinflussung der Transpiration ohne Bedeutung. Aber hier muß man ein großes Fragezeichen machen. Wir wissen, daß bei den Pflanzen mit beweglichen Spaltöffnungen diese dazu dienen, die Wasserabgabe zu regulieren. Wenn also durch äußere Verhältnisse die Transpiration beeinflußt wird, so wird man in erster Linie an eine Beeinflussung der Spaltöffnungsmechanismen denken müssen. Diese Frage hat sich v. Schroeder nicht vorgelegt und demgemäß auch nicht in seine Untersuchung gezogen. Sie zu entscheiden ist aber ganz wesentlich, wenn man aus der Wirkung der hohen Konzentration auf die Wirkung der niederen Schlüsse ziehen will. Es könnte doch sein, daß sich unter Berücksichtigung dieses Faktors die Transpirationsverhältnisse anders bei hoher als bei niedriger Konzentration verhalten. Es tritt hier also die Frage auf: werden die Schließzellen durch die Säure so beeinflußt, daß sie sich schließen und umsomehr, je höher

die Konzentration der Säure ist. Diese Frage ist von v. Schroeder nicht aufgeworfen und beantwortet worden, sie bedarf noch heute einer präzisen Beantwortung. Seine Versuche mit den verhältnismäßig hohen Konzentrationen, aus denen eine Beeinflussung der Transpiration ersichtlich ist, sind nicht entscheidend. Bei solchen Konzentrationen pflegen die Blätter über kurz oder lang abzusterben, und ebenso wie hierbei die übrigen Blattzellen sterben, müssen auch die Schließzellen der Spaltöffnungen getötet werden. Da die Öffnung der Spalten meistens durch ein Anwachsen des osmotischen Druckes in den Schließzellen bewirkt wird, dieser aber mit Absterben der Zellen auf Null sinkt, so müssen die Spaltöffnungen sich schließen, wenn durch die Einwirkung der Säure die Schließzellen getötet werden. Es ist mir zweifelhaft, daß die Herabsetzung der Transpiration in den v. Schroeder'schen Versuchen auf einen Spaltenschluß durch Absterben der Schließzellen zurückzuführen ist. Nun wissen wir andererseits, daß die Konzentration nur bis zu einem bestimmten Grade sinken darf, wenn Blattsubstanz getötet werden soll. Es wird das einmal durch direkte Versuche, andererseits durch die Beobachtungen in Rauchschadengebieten bewiesen. Beschädigungen an Blättern werden meistens nur in geringer Entfernung von den Rauchquellen beobachtet, während sich die schädigende Wirkung der Säure viel weiter erstreckt und sich dort noch in den chronischen Schäden bemerkbar macht, wo äußerlich nichts von Beschädigung der Blattsubstanz wahrzunehmen ist. Es ist nicht wahrscheinlich, daß hier nur die Schließzellen getötet werden und dadurch eine Verminderung der Transpiration herbeigeführt wird; wahrscheinlicher ist, daß hier überhaupt keine Beeinflussung, weder der Spaltöffnungen noch der Transpiration stattfindet. Es ist also erforderlich, die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Transpiration in solchen Konzentrationen kennen zu lernen, welche keine Tötung von Blattsubstanz herbeiführen.

Daß sich in den Versuchen von v. Schroeder die Transpiration nur um einen bestimmten Prozentsatz vermindert und nicht vollständig auf Null sinkt, erklärt sich daraus, daß es längere Zeit bedarf, bis die schweflige Säure in so großer Menge aufgenommen worden ist, daß die Zellen getötet werden können, und daß das Absterben der Zellen unter diesen Umständen sehr langsam vor sich geht. Dieser Zeitpunkt muß umso eher erreicht werden, je höher die angewandte Konzentration ist. Damit stehen die Ergebnisse des oben angezogenen Versuches in gutem Einklang, wo sich die transpirierten Mengen bei verschiedenen Konzentrationen zur normalen Transpiration verhielten wie 55 : 74 : 100.

Die unrichtigen Schlußfolgerungen, welche v. Schroeder aus seinen Versuchen mit hohen Konzentrationen auf die Beeinflussung der Trans-

spiration durch niedrige Konzentrationen zog, haben R. Hartig[1]) zu einer Theorie über die Wirkungsweise der schwefligen Säure veranlaßt, welche sich allerdings als unhaltbar erwiesen hat, hier der Vollständigkeit halber aber kurz erwähnt sein mag. Den Grund für die Herabsetzung der Transpiration durch die Säure in den v. Schroeder'schen Versuchen erblickte Hartig in einem Absterben der Schließzellen und in dem dadurch bedingten Spaltenschluß. Die Ansicht, daß auch bei Einwirkung starker Verdünnungen die Transpiration herabgesetzt wird, machte sich Hartig ohne weitere Prüfung zu eigen; da ihm aber eine Transpirationsverminderung nur durch einen Schluß der Spalten möglich schien, so mußten auch in diesen Fällen, wo äußerlich nichts von Beschädigungen der Blattsubstanz wahrzunehmen war, die Schließzellen getötet werden. Dadurch würden aber nicht nur die Transpiration, sondern auch andere wichtige Funktionen, wie z. B. die Assimilation, gestört werden, so hätte sich hieraus die chronische Beschädigung etwa der Fichten erklären lassen, welche allmählich zugrunde gehen, ohne daß die Nadeln zerstörte Blattsubstanz aufweisen. Umfangreiche Untersuchungen, welche Hartig an Fichten anstellte, sprachen zugunsten eines Absterbens der Schließzellen an Nadeln, welche im übrigen unbeschädigt waren. In den abgestorbenen Schließzellen trat eine rote Färbung auf, welche nach Hartig eine spezifische Reaktion der schwefligen Säure sein sollte. Die Nachuntersuchung von Ramann[2]), Sorauer[3]) und mir[4]) lieferte keine Bestätigung der Hartig'schen Beobachtung. Das charakteristische Absterben der Schließzellen trat nur an Nadeln auf, welche auch im übrigen Beschädigungen aufwiesen, und konnte auch durch andere Ursachen als durch schweflige Säure hervorgerufen werden. Damit war der ganzen Theorie die sichere Grundlage entzogen; sie selbst hat unsere Einsicht in die Wirkungsweise der Säure in keiner Weise gefördert.

Durch die Untersuchungen v. Schroeder's und die theoretischen Erörterungen Hartig's hat die Frage nach der Beeinflussung der Wasserbewegung durch die schweflige Säure ein gewisses Interesse erlangt und es notwendig gemacht, die Frage einer erneuten experimentellen Untersuchung zu unterziehen. Da die Transpiration im engsten Zusammenhang mit dem

---

[1]) Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauches auf die Gesundheit der Nadelwaldbäume. Forstl. naturw. Zeitschrift 1896.

[2]) Über Rauchbeschädigungen. Zeitschr. f. Forst- und Jagdwesen 1896, 28, S. 511.

[3]) Über die Rotfärbung der Spaltöffnungen bei Picea. Notizbl. d. Königl. bot. Gartens u. Museums zu Berlin, 1898, Nr. 16, 239.

[4]) Über unsichtbare Rauchschäden bei Nadelbäumen. Zeitschr. f. Forst- und Jagdwesen 1897, 29, S. 513.

Spaltöffnungsmechanismus steht, so mußten diese Untersuchungen auch Aufschluß über seine Beziehung zur schwefligen Säure geben. Natürlich war es wesentlich, mit solchen Konzentrationen zu experimentieren, welche keine Tötung der Zellen herbeiführen, da es vor allen Dingen galt, Aufschluß über die Wirkungsweise der Säure bei den sogenannten chronischen Schäden zu erhalten.

Der benutzte Apparat ist in der Abb. 7 wiedergegeben. Auf dem mit Ausschnitt in der Platte versehenen Holzgestell A ruht die Glasplatte B, auf die wie bei dem Assimilationsapparat die Glasglocke C luftdicht aufgesetzt ist. Durch den Gummistopfen führen wieder drei Röhren: a ist das Manometerrohr und taucht mit dem anderen Ende in das mit Quecksilber gefüllte Gefäß b. Das Rohr c ist mit einem Glashahn versehen und steht mit der Wasserstrahlluftpumpe in Verbindung; d ist das Gaszuleitungsrohr für den Apparat. Der Zweig wird durch den Gummistopfen hindurch gesteckt, mit welchem das Loch in der Glasplatte luftdicht verschlossen wird. Mit dem unbeblätterten Ende ist der Zweig mittels eines Gummistopfens in den längeren Schenkel eines U-Rohres D eingesetzt. Die Breitendimensionen dieses U-Rohres und die Weite des Loches in der Glasplatte sind in der Zeichnung nicht ganz richtig getroffen worden. Das Loch hat einen Durchmesser von etwa 7 cm, so daß das

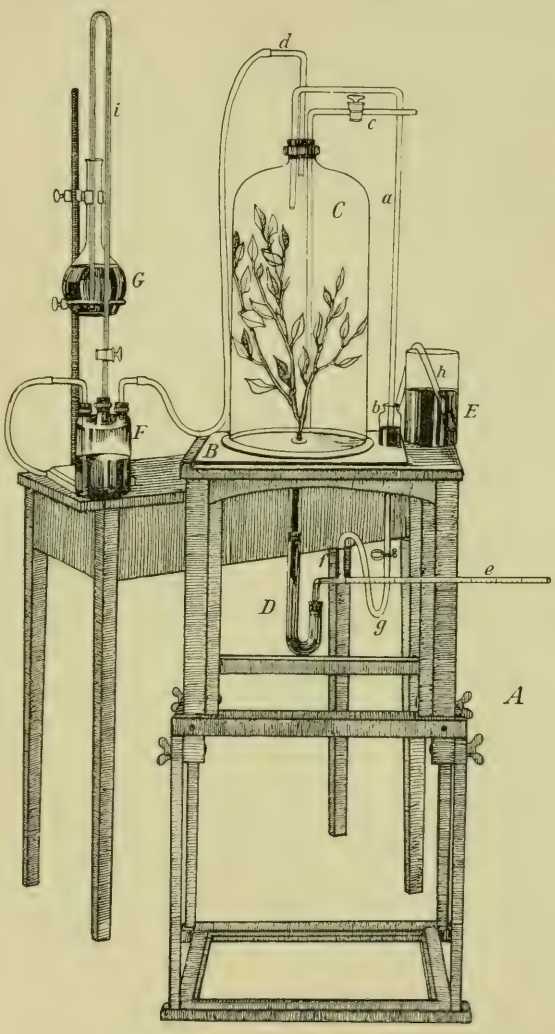


Abb. 7.

Apparat zur Untersuchung der Wasseraufnahme und Wasserabgabe unter Einwirkung der Säure, ca. $^1/_{15}$ nat. Gr.

U-Rohr durch dasselbe hindurchgesteckt werden kann. In den kurzen Schenkel des U-Rohres wird ein rechtwinklig gebogenes T-Rohr gleichfalls mittels eines Gummistopfens luftdicht eingesetzt. Der längere Schenkel e ist mit einer Skala versehen. Das Rohr ist von solchen Abmessungen, daß ein Teilstrich einem Rauminhalt von 0,02 ccm entspricht. Der senkrecht stehende Schenkel f steht durch den Kautschukschlauch g mit dem Heber h in Verbindung, durch den jederzeit das kalibrierte Rohr aus E mit Wasser gefüllt werden kann. Natürlich muß vor Beginn des Versuches das Rohr D vollständig mit Wasser gefüllt und alle Luft ausgetrieben worden sein. Die durch den Apparat durchgesogene Luft passierte zunächst den Gasmesser, dann trat sie in die Schwefelsäure enthaltende Woulf'sche Flasche F ein, in welche aus dem Gefäß G mittels eines Kapillarhebers i eine titrierte Lösung von schwefligsaurem Natrium tropfte. Es war ein ebensolcher Heber, wie in den Assimilationsversuchen für die Sodalösung Verwendung gefunden hatte. Bei diesen Versuchen kam ein größeres Volumen einer verdünnteren Lösung zur Anwendung, um die Entwicklung von Säure so gleichmäßig wie irgend möglich zu machen. Die Lösung wurde am Anfang und am Ende titriert und nach Bedarf in kürzeren Zeiträumen erneuert. Durch Messung oder Wägung wurde die Menge der verbrauchten Lösung bestimmt. Neben den Zweig wurde unter die Glocke ein Koppe'sches Haarhygrometer gestellt, auch konnte mit diesem oder anderweitig ein Thermometer in den Apparat hineingebracht werden. Wurde die Luft, welche in der Woulf'schen Flasche oder, wenn das nicht ausreichte, in einer Schwefelsäure haltenden, zwischen ihr und der Glasglocke eingeschalteten Waschflasche, ihres Feuchtigkeitsgehaltes beraubt wurde, mit konstanter Geschwindigkeit durch den Apparat hindurchgesogen, so mußte jede Vermehrung oder Verminderung in der Wasserabgabe, welche durch Erweiterung oder Verengerung der Spaltöffnungen hervorgerufen wurde, am Hygrometer kenntlich werden. So vermochte man bei abwechselnder Einwirkung von säurefreier und säurehaltiger Luft zu entscheiden, ob und welchen Einfluß die Säure auf Wasseraufnahme und Wasserabgabe ausübt.

Die Verwendung von Zweigen hat große Nachteile. Durch Veränderungen im Innern des Holzkörpers nimmt die Wasseraufnahme allmählich ab, bei dem einen Exemplar eher, bei dem anderen später. Auch die verschiedenen Arten verhalten sich ungleich; infolgedessen eignet sich die eine besser zu solchen Versuchen als die andere. Es hängt immer von Zufälligkeiten ab, ob ein Versuch überhaupt ein brauchbares Resultat über die Wasseraufnahme liefert, was man bei Beurteilung meiner Versuche im Gedächtnis behalten möge. Alle diese Übelstände, welche die Verwendung von Zweigen im Gefolge hat, sind bei Benutzung von Wasser-

kulturen ausgeschlossen, wenn man dafür Sorge trägt, die Wasseraufnahme in analoger Weise wie bei den Zweigen zu ermitteln. Leider standen mir nur zwei Wasserkulturen zur Verfügung und zwar je eine von Weide und Pappel, von denen aber nur die bereits bei den Assimilationsversuchen erwähnte Weide verwertbar war. Der Versuch mit der Pappel fiel aus, weil Störungen beim Nachsaugen des Wassers eingetreten waren. Das oben bei der Weide erwähnte lange zylindrische Kulturgefäß wurde am unteren Ende mit einem einfach durchbohrten Gummistopfen verschlossen, durch welchen ein Glasrohr führte, das gleichfalls mit einem einfach durchbohrten Stopfen dem längeren Schenkel des bei den Versuchen mit den Zweigen benutzten U-Rohres und seiner Skala zur Bestimmung der Wasseraufnahme aufgesetzt wurde.

Für die Untersuchung über die Beeinflussung der Wasserbewegung in der Pflanze durch die Säure wurden außer den beiden Wasserkulturen von Weide und Pappel als Versuchsobjekt benutzt: Sprosse von Epheu und Weinstock, Zweige von Taxus, Prunus Laurocerasus, Buxus sempervirens, Buche, Eiche, Birke, Acer Pseudo-Platanus, Pappel (Populus nigra) und Robinie, also Pflanzenarten mit beweglichem und unbeweglichem Spaltöffnungsapparat. So konnte entschieden werden, ob eine eventuelle Beeinflussung der Transpiration durch die schweflige Säure, durch den Spaltenschluß oder durch andere Ursachen bedingt war.

Die Versuche sind unter verschiedenen äußeren Umständen ausgeführt worden, einige Versuche im Dunkeln, ein großer Teil im diffusen Tageslichte des Instituts, und zwar stand der Apparat alsdann meistens hinter einem Südfenster. Eine direkte Sonnenbestrahlung wurde durch Vorziehen eines Rouleaus vermieden, damit nicht eine unerwartete Transpirationssteigerung eintreten möchte, wie sie in Zusammenhang mit gesteigerter Assimilation stets zu beobachten ist. Ein Teil der Versuche wurde unter Einwirkung elektrischen Lichtes ausgeführt, wobei entweder Kohlensäure besonders zugeführt wurde oder der Zweig auf seine Atmungskohlensäure angewiesen war. Die meisten der ausgeführten Versuche über die Beeinflussung der Wasserbewegung durch die schweflige Säure habe ich in Tabelle 3, Versuch 1—28, zusammengestellt.

Wenn es nun auch, wie oben auseinander gesetzt wurde, in der Absicht lag, nur solche Säurekonzentrationen einwirken zu lassen, welche keine sichtbaren Beschädigungen hervorrufen, so sind, da man hier lediglich auf Probieren angewiesen war, wiederholt Konzentrationen benutzt worden, in deren Gefolge eher oder später Beschädigungen auftraten. Derartige Versuche sind auch in der Tabelle aufgeführt worden, da sie zum größeren Teil zeigen, daß eine Beeinflussung der Wasserbewegung auch bei ihnen nicht zu verzeichnen ist. Das ist überhaupt das Er-

gebnis der gesamten Untersuchung, daß die Wasserbewegung durch Säurekonzentrationen, welche nicht tödlich auf die Blattsubstanz einwirken, nicht beeinflußt wird, und daß nur hier und da die Ergebnisse zugunsten einer Beeinflussung sprechen, wo solche Konzentrationen zur Anwendung kamen, welche die Blattsubstanz schädigten.

Bei der Wasserbewegung müssen zwei Vorgänge auseinandergehalten werden, die Wasserabgabe und die Wasseraufnahme. Wenn nun auch im wesentlichen diese dazu dient, den durch Transpiration verursachten Wasserverlust zu ersetzen, so greifen doch nicht beide Vorgänge so eng ineinander, daß für jedes transpirierte Wasserteilchen eins aufgenommen wird, sondern beide Prozesse sind innerhalb gewisser Grenzen unabhängig voneinander. Das geht deutlich aus unseren Versuchen hervor, da die Wasseraufnahme immer konstant sein müßte, wenn Wasserabgabe und Temperatur konstant sind, was aber nicht der Fall ist (vergl. Versuch 16, 17, 21, 27). Man beobachtet auch hier und da, daß im Dunkeln, obendrein bei sinkender Temperatur, die Wasseraufnahme beträchtlicher ist, als bei starker Beleuchtung, wo die Wasserabgabe erheblich zu steigen pflegt (vergl. Versuch 1, 5). Dies muß hervorgehoben werden, um zu zeigen, daß Wasserabgabe und -aufnahme nicht absolut parallel laufen, und daß mithin die Wasseraufnahme noch keinen genauen Maßstab für die Wasserabgabe bildet und in unserem Fall umso weniger, als mit Ausnahme der Weide und Pappel nur Zweige benutzt wurden. Bei diesen ist die Wasseraufnahme nicht nur von den in der unversehrten Pflanze herrschenden Bedingungen abhängig, sondern auch von der Wirkung des Luftdruckes, welcher auf der Schnittfläche zur Geltung kommt. Dadurch verändert sich die Wasseraufnahme wesentlich. In dem ausführlich mitgeteilten Versuch von v. Schroeder wurden vom Zweige A 23 g Wasser aufgenommen und 33 g abgegeben, vom Zweige B hingegen wurden 13 g aufgenommen und 8 g transpiriert. Der Mangel einer Übereinstimmung zwischen Wasserabgabe und Wasseraufnahme ist in diesem Fall vielleicht auf die Mitwirkung des Luftdruckes zurückzuführen.

Im folgenden sollen die Ergebnisse der Versuche für die einzelnen Pflanzenarten hinsichtlich der Transpiration und Wasseraufnahme getrennt kurz besprochen werden.

1. Transpiration.

Taxus baccata. Versuch 3 ist im Dunkeln ausgeführt worden, am ersten Tage ohne Säure, am folgenden mit Säure. Trotzdem die Temperatur am zweiten Tage durchschnittlich etwas niedriger war, als am ersten, die Geschwindigkeit der Pumpe sogar etwas größer, so ist doch am zweiten Tage die Wasserabgabe unter Einwirkung der Säure etwas erheb-

licher als am ersten, da die relative Feuchtigkeit beträchlicher ist. Wenn diese Transpirationssteigerung nun auch nicht auf eine Einwirkung der Säure zurückgeführt werden soll, so geht doch wenigstens aus diesem Verhalten hervor, daß die Säure nicht vermocht hat, die Wasserabgabe herabzudrücken. Durch ein Versehen ist die Säurekonzentration nicht notiert worden, aber es ist sicher, daß es sich um eine verhältnismäßig hohe Konzentration gehandelt hat, von der eine Einwirkung angenommen werden konnte. Die anderen im Lichte ausgeführten Versuche führten zu demselben Ergebnis. Im diffusen Tageslicht bei konstanter Temperatur und konstanter Pumpengeschwindigkeit unter abwechselnder Einwirkung säurefreier Luft und einer Säure von 1 : 4300 blieb die Feuchtigkeit während des ganzen Versuchstages konstant; die Säure ist also wirkungslos gewesen. In den beiden Versuchen 1 und 2 war künstliche Beleuchtung wirksam, in Versuch 2 wurde Kohlensäure zugeführt, so daß hier eine ausreichende Assimilation stattfinden konnte. Im Versuch 2 betrug die Konzentration der schwefligen Säure 1 : 13000 resp. 1 : 15000, für den ersten Versuch war es nicht mehr möglich, die Konzentration zu ermitteln; jedenfalls hat es sich auch hier um eine verhältnismäßig hohe Konzentration gehandelt. Bei Einwirkung des Lichtes geht in beiden Versuchen, ganz gleichgültig, ob die Säure einwirkt oder nicht, das Hygrometer in die Höhe, es findet also durch die Säure kein Schluß der Spaltöffnungen statt, sondern sie öffnen sich und schließen sich auch nicht wieder, wenn die Säure einige Zeit eingewirkt hat, wie aus einem Vergleich der relativen Feuchtigkeit im Licht und im Dunkeln erhellt.

Hedera Helix. Von dem Versuch 5 ist der erste Tag unbrauchbar, weil die Pumpe zu langsam arbeitete, wodurch die relative Feuchtigkeit konstant 100% betrug. Vergleicht man deshalb nur die beiden folgenden Tage miteinander, so ist bei gleicher Temperatur und konstanter Pumpengeschwindigkeit die relative Feuchtigkeit an dem Tage, an welchem die Säure einwirkte, bedeutender als am folgenden Tage, wo ihre Einwirkung fortfiel. Es muß also am ersten Tage mehr Wasser transpiriert worden sein, als am zweiten. Die Säure, welche hier unter Einwirkung des elektrischen Lichtes bei einer Konzentration von 1 : 83000 zur Geltung kam, hat die Wasserabgabe nicht herabgedrückt. Der zweite Versuch wurde im diffusen Tageslichte mit steigender Konzentration der Säure ausgeführt. Er begann mit einer Konzentration von 1 : 175000 und er endete mit einer solchen von 1 : 34000. Selbst bei dieser hohen Konzentration ist, wie aus der Konstanz des Hygrometers bei konstanter Pumpengeschwindigkeit hervorgeht, eine Einwirkung der Säure nicht zu spüren.

Prunus Laurocerasus. In dem im Dunkeln ausgeführten Versuch 10 wirkten wachsende Konzentrationen auf den Zweig ein, zuerst

1 : 42000, später 1 : 26000 resp. 1 : 27000. Wenn hier das Hygrometer auch Schwankungen gemacht hat, so erklären sich diese teilweise aus den Unregelmäßigkeiten der Pumpenbewegung, teilweise sind sie zu unregelmäßig, um aus ihnen eine Einwirkung der Säure auf die Wasserabgabe konstruieren zu können. Zu demselben Resultate führen die unter 11 und 12 aufgeführten Versuche im diffusen Tageslicht. Im Versuch 11 war die relative Feuchtigkeit konstant 76 % bei konstanter Temperatur und konstanter Pumpengeschwindigkeit, obgleich eine so hohe Säurekonzentration wie 1 : 3200 einwirkte. Sie ging nicht spurlos an den Blättern vorüber, sondern als die Säureeinwirkung aufhörte, waren schwache Injektionen entlang der Mittelrippe des Blattes aufgetreten. Einige Stunden später, als der Versuch beendet wurde, waren die Blätter olivbraun geworden. Die Blattsubstanz war also beschädigt worden, trotzdem war die Wasserabgabe nicht gesunken, was sich wohl nur so erklären läßt, und was ja auch mit den oben erwähnten Beobachtungen in Einklang steht, daß sich beim Absterben der Schließzellen die Spaltöffnungen nicht geschlossen hatten. Der zweite Versuch im diffusen Lichte (Nr. 12) wurde im Gegensatze zu dem vorhergehenden mit einer erheblich geringeren Konzentration und zwar 1 : 130900 ausgeführt, welches aber nicht verhinderte, daß sich schließlich die Ränder der Blätter braun färbten, also abstarben.

Am ersten Tage herrschten in den ersten Stunden normale Verhältnisse, dann wirkte die Säure ein, aber das Hygrometer stand während der ganzen Versuchsdauer konstant auf 66 %, ein Spaltenschluß ist also nicht eingetreten. Ebensowenig ist eine Einwirkung der Säure in den Versuchen 8 und 9 zu bemerken, wo während der Einwirkung des elektrischen Lichtes Kohlensäure zugeführt wurde. In dem Versuch 8 kamen hohe Konzentrationen der schwefligen Säure 1 : 14000 resp. 1 : 6700, im Versuch 9 geringere 1 : 118000 resp. 1 : 127000 zur Anwendung. Nur aus Versuch 7, wo die Kohlensäure weggeblieben war und Konzentrationen von 1 : 60000 resp. 1 : 27000 zur Anwendung kamen, könnte man den Eindruck gewinnen, als ob die transpirierte Menge unter der Säurewirkung sinkt; so steigt am ersten Tage bei Einwirkung der Säure die relative Feuchtigkeit zunächst von 48 auf 85, um dann wieder bis auf 46 zu sinken und noch einmal wieder auf 53 zu steigen. Nach Aufhören der Einwirkung der Säure steigt sie noch auf 60 %, um in der letzten halben Stunde wieder bis auf 58 % herunter zu gehen. Hier könnte also eine Einwirkung vorliegen, doch ist es wohl wahrscheinlicher, daß die Erhöhung der relativen Feuchtigkeit rein zufällig ist, da sonst weder in diesem Versuche noch in anderen Versuchen eine derartige Einwirkung zu bemerken ist.

Buxus sempervirens. Mit dem Buchsbaum habe ich einen einzigen Versuch gemacht. Durch ihre geringe Transpiration eignet sich diese

Pflanze schlecht zu solchen Versuchen. Eine Beeinflussung der Transspiration war nicht zu beobachten; im Gegenteil, unter Einwirkung der Säure stieg sogar noch die relative Feuchtigkeit in der Glocke, ein sicherer Beweis, daß die Transpiration durch die Säure nicht herabgedrückt worden ist. Die angewandte Konzentration der Säure war nicht notiert worden und nachträglich nicht mehr zu ermitteln, jedenfalls gehörte sie aber zu den höheren Konzentrationen, so daß der Einwand, die Wirkung sei ausgeblieben, weil die Säure in zu hoher Verdünnung eingewirkt habe, als ausgeschlossen gelten kann.

Fagus sylvatica. Mit Buchenzweigen ist eine größere Reihe von Versuchen angestellt worden, von denen auf Tabelle 3 unter Nr. 14—19 6 aufgeführt worden sind. Sie wurden alle im diffusen Tageslicht mit sehr verschiedenen Konzentrationen angestellt, doch herrschen die mit starken Verdünnungen vor. Diese wurden gewählt, weil sich die Buche bei den Assimilationsversuchen bereits gegen starke Verdünnungen als sehr empfindlich erwiesen hatte. In allen Fällen ist das Verhalten das nämliche. Eine Beeinflussung der Wasserabgabe durch die Säure ist niemals zu beobachten. Meistens ist während der Versuchsdauer die relative Feuchtigkeit konstant gewesen, nur im Versuch 19, wo die Säurekonzentration 1 : 5000 betrug, hat sie stärkeren Schwankungen unterlegen. Aber diese Schwankungen sind derartig, daß die relative Feuchtigkeit mit Einwirkung der Säure ihr Maximum erreicht. Das Ausbleiben einer Einwirkung auf die Transpiration bei Anwendung der Konzentrationen von 1 : 4470 und 1 : 5000 ist um so auffälliger, als die Blätter beschädigt werden. Da die Einwirkung aber nicht lange dauerte, so treten die Beschädigungen erst nach Beendigung des Versuches auf. Würde man den Versuch länger fortgesetzt haben, würde sich wohl eine Beeinflussung der Wasserabgabe infolge dieser Beschädigungen bemerkbar gemacht haben. Fraglich muß es bleiben, ob in den Versuchen die Konzentration von 1 : 1800000 überhaupt irgend einen Einfluß auf die Buchenblätter ausgeübt hat, dahingegen steht fest, daß Konzentrationen von 1 : 660900 und 1 : 727000 diesen Einfluß ausüben, da in den Versuchen, wo sie zur Wirkung kamen, ebenso wie in denen, wo höhere Konzentrationen benutzt wurden, Injektionen in den Blättern auftraten, welche unter sonst gleichen Umständen nur als Folge einer Säurewirkung bei der Buche vorkommen.

Quercus pedunculata. Die mit der Eiche ausgeführten Versuche lassen keine Einwirkung der Säure auf die Transpiration erkennen. Es kamen sehr verschiedene Konzentrationen zur Anwendung: 1 : 103000, 1 : 50000 und 1 : 3900. In Versuch 20 betrug die relative Feuchtigkeit bei sonst konstanten Verhältnissen 64 % und in Versuch 22 76 %. In

beiden Fällen dauerte der Versuch einen Tag und fand ein Wechsel zwischen normalen Verhältnissen und der Einwirkung von Säure statt. Der Versuch 21 hingegen, bei welchem die Konzentration 1 : 50000 einwirkte, dauerte 2 Tage; am ersten Tage wirkte die Säure ein, am zweiten Tage herrschten normale Verhältnisse. Am ersten Tage betrug die relative Feuchtigkeit konstant 76 %, am zweiten Tage 78 %. Man wird aus dieser Differenz nicht schließen dürfen, daß am ersten Tage die Wasserabgabe infolge der Säurewirkung geringer war, denn dann wäre das Hygrometer wohl nicht konstant stehen geblieben. Die etwas höhere relative Feuchtigkeit am zweiten Tage dürfte wohl darauf zurückzuführen sein, daß die Luftfeuchtigkeit in der Glocke bei Beginn des Versuches an diesem Tage schon größer war als am ersten Tage.

Vitis vinifera. Mit dem Weinstock wurden zwei Versuche ausgeführt. In dem einen betrug die Konzentration der Säure 1 : 236400 bis 1 : 302600; die relative Feuchtigkeit hielt sich konstant sowohl vor der Säurewirkung unter normalen Verhältnissen wie während derselben auf 85—84 %. Der zweite Versuch, welcher in unserer Tabelle 3 unter Nr. 24 aufgeführt ist, wurde mit höherer Konzentration angestellt, weil befürchtet wurde, daß die starke Verdünnung an der Wirkungslosigkeit Schuld sein möchte. Aber auch bei Einwirkung der Konzentration 1 : 149000 konnte keine Beeinflussung der Transpiration festgestellt werden. Da der Sproß eine Zeitlang im abgeschlossenen Volumen zugebracht hatte, ist die relative Feuchtigkeit im Beginne des Versuches etwas größer und geht allmählich herunter, bis ein konstanter Feuchtigkeitsgehalt erreicht ist. Daher ist die Feuchtigkeit unter normalen Verhältnissen etwas höher als später. Erst unter Einwirkung der Säure ist der Gehalt von 75 auf 74 % heruntergegangen, um dann konstant zu werden. Hätte die Säure einen Verschluß der Spaltöffnungen bewirkt, so hätte die relative Feuchtigkeit noch weiter sinken müssen.

Acer Pseudo-Platanus. Mit dem Ahorn sind mehrere Versuche mit verschieden hohen Konzentrationen der schwefligen Säure lediglich im diffusen Tageslichte ausgeführt worden. Bei Konzentrationen wie 1 : 303500 und 1 : 197900 war keine Beeinflussung der Wasserabgabe zu spüren. Aber auch bei Anwendung höherer Konzentrationen, wie sie in den in unserer Tabelle 3 aufgeführten Versuchen 25—27 zur Anwendung gelangten, ist eine Beeinflussung der Transpiration durch die Säure nicht erkennbar. Im Versuch 27 z. B. stieg am ersten Tage in der ersten Stunde ohne Säureeinwirkung die relative Feuchtigkeit von 70 auf 73 %, 8 Stunden lang hielt sich die relative Feuchtigkeit dann konstant auf 73 %. Die Säure wirkte erst am folgenden Tage in der Konzentration 1 : 98000 ein. Ohne Säureeinwirkung war die relative Feuchtigkeit in den ersten Morgen-

stunden von 100 auf 79 % heruntergegangen, blieb dann aber konstant, als die Säure einwirkte. Nicht anders liegen die Verhältnisse im Versuch 26, wo an beiden Tagen ein Wechsel zwischen normaler und schwefligsäurehaltiger Luft stattfand. Die relative Feuchtigkeit blieb konstant. Aber selbst im Versuch 25, wo während 4 Stunden eine Konzentration von 1 : 4000 einwirkte, war die relative Feuchtigkeit konstant 90 %, obgleich am andern Morgen alle Blätter tot waren. In allen drei Versuchen war die Temperatur konstant.

Robinia Pseud-acacia. Zwei Versuche wurden mit Zweigen dieser Pflanze ausgeführt. Im ersten Versuche war die Konzentration der Säure anfänglich 1 : 118200, am Ende 1 : 130500, im zweiten Versuche 1 : 72700. In beiden Versuchen war bei sonst konstanten Verhältnissen die relative Feuchtigkeit 70 resp. 65 % und zwar sowohl unter normalen Verhältnissen wie unter Einwirkung der schwefligen Säure.

Betula alba. In einem mit dieser Pflanze ausgeführten Versuche (Nr. 23 Tabelle 3) ist die Wasserabgabe konstant geblieben. Die relative Feuchtigkeit betrug 75 % unter normalen Verhältnissen wie unter Einwirkung der Säure von der Konzentration 1 : 85000.

Salix spec. In Nr. 28 Tabelle 3 ist ein Versuch mit einer Wasserkultur mitgeteilt. Entsprechend dem Umstande, daß dieser Pflanze der Spaltöffnungsmechanismus fehlt, hält sich die relative Feuchtigkeit während der mehrtägigen Versuchsdauer annähernd konstant. Ein Schwanken, je nachdem Licht oder Dunkelheit einwirkt, ist ausgeschlossen. Schwankungen in der Höhe der relativen Feuchtigkeit sind auf Schwankungen in der Wärme und in der Luftgeschwindigkeit zurückzuführen. Eine Wirkung der Säure müßte sich unmittelbar in den transpirierenden Zellen bemerkbar machen. Bei den in Anwendung gebrachten Konzentrationen 1 : 311800, 1 : 267000, 1 : 930000 ist aber eine Beeinflussung der Transpiration nicht zu beobachten gewesen.

Populus nigra. Zu diesem Versuche diente gleichfalls eine Wasserkultur. Die relative Feuchtigkeit betrug konstant 75 % sowohl unter den normalen Verhältnissen wie bei Einwirkung der Säurekonzentration 1 : 30700. Da auch dieser Pflanze der Spaltöffnungsmechanismus fehlt, so hat auch in diesem Falle eine direkte Beeinflussung der transpirierenden Zellen selbst durch eine verhältnismäßig hohe Konzentration nicht stattgefunden.

Die mit Zweigen von Taxus baccata, Prunus Laurocerasus, Buxus sempervirens, Fagus sylvatica, Quercus pedunculata, Acer Pseudo-Platanus, Robinia Pseud-acacia und Betula alba, mit Sprossen von Hedera Helix und Vitis vinifera und mit Wasserkulturen von Salix spec. und Populus nigra unter verschiedenen äußeren Umständen ausgeführten Versuche lehren

übereinstimmend, daß die Wasserabgabe nicht durch die schweflige Säure beeinflußt wird, ganz gleichgültig, ob sie in geringer oder hoher Konzentration einwirkt. Aus dem Ausbleiben einer solchen Einwirkung ergibt sich ferner, daß der Spaltöffnungsmechanismus, soweit ein solcher vorhanden ist, durch die schweflige Säure, selbst bei Anwendung von Konzentrationen, welche ein Absterben der Blattorgane im Gefolge haben, während der Versuchsdauer nicht beeinflußt wird. Wir gewinnen also ein weiteres Argument für unsere Auffassung, daß die unter Einwirkung der schwefligen Säure beobachtete Assimilationsverminderung nicht durch einen Spaltenschluß bedingt, sondern tatsächlich auf eine Beeinflussung der Chloroplasten durch die Säure zurückzuführen ist.

Wenn die besonders darauf gerichteten Versuche zeigen, daß eine Beeinflussung der Wasserabgabe durch die Säure nicht vorliegt und wir wohl berechtigt sind, dies Resultat zu verallgemeinern, so darf doch nicht verhehlt werden, daß mir einige Beispiele vorgekommen sind, wo während der Einwirkung der schwefligen Säure augenscheinlich ein Schluß der Spaltöffnungen eingetreten ist resp. eine Beeinflussung der Wasserabgabe stattgefunden hat. Bei einem großen Teil der in Tabelle 2 aufgeführten Assimilationsversuche wurde auch die relative Feuchtigkeit ermittelt. Meistens war die Wasserabgabe im Lichte so bedeutend, daß das Hygrometer auf 100 % unverändert stehen blieb. In den Versuchen mit solchen Pflanzen, welche wenig transpirieren, oder bei denen keine große Blattmasse in dem Apparat vorhanden war, wie bei Ficus elastica, Genista Andraeana, Cereus grandiflorus, Allium Cepa und Abutilon palmatum, war die relative Feuchtigkeit geringer, und hier bestand die Möglichkeit, aus dem Stand des Hygrometers Schlüsse auf die Wasserabgabe zu ziehen. Eine Beeinflussung der Wasserabgabe durch die Säure war aber nur bei Ficus zu beobachten. Am ersten Tage schwankte die relative Feuchtigkeit zwischen 100—95 %, am zweiten Tage, an welchem die Säure einwirkte, zwischen 80 und 75 %. Da Temperatur und Luftbewegung konstant gewesen sind, läßt die geringere Luftfeuchtigkeit auf eine Verengerung der Spalten schließen. Man hat hier aber keine Sicherheit, daß diese Verengerung eine Wirkung der Säure ist, es wäre nicht ausgeschlossen, daß vielleicht die Wasseraufnahme geringer geworden und infolgedessen eine Verengerung der Spalten eingetreten ist. Alsdann würde der Spaltenschluß zufällig mit der Wirkung der Säure zusammengefallen sein, ohne daß diese die Ursache jenes wäre. Ähnlich dürfte vielleicht auch der Fall mit der Fichte liegen, wo gleichfalls in einem Versuche zur Zeit der Säurewirkung eine Verminderung der Transpiration beobachtet wurde. Als die ersten Assimilationsversuche unter Einwirkung schwefliger Säure ausgeführt wurden, zu denen auch derjenige gehört, von dem hier die Rede sein soll, war

kein Hygrometer in den Apparat hineingestellt worden. Im allgemeinen war das auch nicht erforderlich, weil die Glocke mit Dampf gesättigt oder annähernd gesättigt war, wie daraus hervorging, daß die Glaswandungen sich während des Assimilationsprozesses stark beschlugen. Das gilt sowohl für die normalen wie für die unter Einwirkung der schwefligen Säure ausgeführten Assimilationsversuche. Bei dem in Frage stehenden Versuch war die Glocke am ersten Tage während der normalen Assimilation stark beschlagen, am folgenden Tage blieb dieser Niederschlag aus, als die Assimilation unter Einwirkung der Säure statthatte. Auch an den beiden folgenden Tagen waren die Feuchtigkeitsverhältnisse unter der Glocke die nämlichen, obgleich keine Säure einwirkte. Erst am dritten Tage beschlug sich die Glocke wieder. Hier könnte man natürlich geneigt sein, an eine Einwirkung der Säure zu denken; es ist aber überraschend, daß dann nicht in allen Fällen eine Beeinflussung der Transpiration durch schweflige Säure statthat. Es ist wohl wahrscheinlicher, daß der geringere Feuchtigkeitsgehalt in der Glocke auf eine durch irgend welche andere Ursachen hervorgerufene verminderte Wasseraufnahme zurückzuführen ist. Ob hier eine Regulation der Wasserabgabe durch den Bewegungsmechanismus der Spaltöffnungen vorhanden ist, ist nach dem auf S. 162 Auseinandergesetzten zweifelhaft. Es scheint mir, daß diese beiden Fälle mit der Fichte und Ficus gegenüber den zahlreichen Versuchen mit negativem Resultate nicht zugunsten einer Beeinflussung der Wasserabgabe durch die schweflige Säure gedeutet werden können.

2. Wasseraufnahme.

Da die Wasserabgabe nicht durch die schweflige Säure beeinflußt wird, so stand auch zu erwarten, daß die Wasseraufnahme nicht durch sie beeinflußt werden würde, da sie im großen und ganzen dem Gange der Transpiration folgen muß, wenn sie sich im einzelnen auch nicht eng an ihn anschließt. Die Wasseraufnahme wurde an der Skala e Abb. 7 abgelesen und in Teilstrichen ausgedrückt.

Taxus baccata. Die Wasseraufnahme unterliegt zunächst einmal allerlei Schwankungen, unabhängig von äußeren Verhältnissen. Der im Dunkeln ausgeführte Versuch zeigt das am deutlichsten. Am ersten Tage, während keine Säure einwirkte, lassen sich gleichsam für die stündliche Wasseraufnahme drei Maxima ablesen:

10—11	Uhr V.	23	Teilstriche,
1—3	„ N.	27	„ ,
5—6	„ „	28	„ .

Zwischen dem ersten und zweiten Maximum geht die Aufnahme bis auf 20, zwischen dem zweiten und dritten Maximum bis auf 18 Teilstriche

herunter, ohne daß dafür die Schwankungen der Temperatur oder der Luftfeuchtigkeit verantwortlich gemacht werden könnten. Am folgenden Tage unter Einwirkung der Säure ist die Aufnahme konstanter gewesen; sie betrug durchschnittlich für die Stunde 19—18 Teilstriche, nur in der Stunde von 12—1 sank sie auf 12 herab. Derartige Schwankungen kehren nun in allen Versuchen wieder; es kann nicht unsere Aufgabe sein, darauf hier näher einzugehen. Es muß das nur erwähnt werden, damit man sich nicht zu falschen Schlüssen über die Einwirkung der Säure verleiten läßt.

Wenn in dem angezogenen Versuche am zweiten Tage, wo die Säure einwirkte, die durchschnittliche Aufnahme geringer war, so ist das nicht auf eine Einwirkung der Säure zurückzuführen, sondern läßt sich hinreichend aus einer höheren Luftfeuchtigkeit in der Glocke erklären. Der Versuch 4 Tabelle 3 wurde im diffusen Tageslicht während eines Tages abwechselnd mit und ohne Säure ausgeführt. An kleinen Schwankungen in der Wasseraufnahme fehlte es nicht, aber diese Schwankungen sind derartig, daß sie nicht zugunsten einer Beeinflussung sprechen. Viel erheblichere Schwankungen treten in den Versuchen mit künstlicher Beleuchtung, wo Assimilation stattfindet, und wo gelegentlich auch Licht und Dunkelheit wechselten (Versuch 1, 2), auf. So bedeutend diese Schwankungen auch sind, so verlaufen sie doch nicht so, daß ein Minimum der Aufnahme stets mit der Säurewirkung zusammenfiele; im Gegenteil, im Versuch 2 fällt sogar das Maximum auf die Zeit, wo die Säure wirksam war.

Hedera Helix. Eine Depression der Wasseraufnahme unter Einwirkung der Säure ist in keinem der beiden Versuche (Nr. 5 u. 6 der Tabelle 3) festzustellen. Die Verminderung der Wasseraufnahme am vierten Tage des zweiten Versuches ist auf ein Nachlassen der Wasseraufnahme, wie sie sich bei abgeschnittenen Zweigen stets früher oder später geltend macht, zurückzuführen.

Prunus Laurocerasus. Auch hier kommen Schwankungen in der Wasseraufnahme aus inneren Ursachen vor. So liegt überraschenderweise bei dem im Dunkeln ausgeführten Versuch 10 (Tabelle 3) das Maximum der Wasseraufnahme an den beiden Versuchstagen zwischen 6 und 7 Uhr, obgleich weder Temperatur- noch Feuchtigkeitsverhältnisse besonders günstig waren. Ein Sinken der Wasseraufnahme zur Zeit der Säureeinwirkung wird nicht beobachtet. Häufig ist ein An- und Absteigen der aufgenommenen Menge zu beobachten, wie in Versuch 7, 8 und 9, und zwar findet es ohne Rücksicht auf die Einwirkung der Säure statt. In allen diesen Fällen sind innere Ursachen mit im Spiele.

Buxus sempervirens. Auch bei dieser Pflanze hängen die aufgenommenen Wassermengen wesentlich mit von inneren Ursachen ab.

An den beiden Versuchstagen (Versuch 13, Tabelle 3) fällt das Maximum der Wasseraufnahme in die späten Nachmittagsstunden; wäre eine Depression durch die Säure vorhanden, so müßte sie deutlich am zweiten Nachmittage hervortreten, wo die Säure einwirkte.

Fagus sylvatica. Die Versuche sind unter den gleichen Umständen ausgeführt, bei diffusem Tageslicht im Zimmer, dahingegen waren die angewandten Säurekonzentrationen sehr wechselnd. Der unter Nr. 15 in Tabelle 3 aufgeführte Versuch dauerte zwei Tage. Am ersten Tage wurde die Wasseraufnahme unter normalen Verhältnissen, am folgenden unter Einwirkung einer Säurekonzentration von 1 : 648000 ermittelt. Eine Depression durch letztere ist nicht zu verzeichnen, wenn auch hier wieder gelegentliche Schwankungen in der Wasseraufnahme aufgetreten sind. In dem Versuch 14, welcher nur einen Tag dauerte, ist gleichfalls keine Depression der Wasseraufnahme durch die Säure 1 : 230000 bemerkbar. Der Versuch 16 ist für unsere Zwecke nicht ganz beweisend, da nicht die Wasseraufnahme für die normalen Verhältnisse bestimmt wurde. Das Auf- und Abschwanken der aufgenommenen Mengen bei ihren relativ hohen Werten spricht nicht zugunsten einer Beeinflussung durch die Säure. Im Versuch 17 wirkte am ersten Tage während vier Stunden die Säure in der Konzentration 1 : 94000 ein. In diesen Zeitraum fällt das Maximum der Wasseraufnahme. Sie zeigt ein Ansteigen bis zu diesem Maximum und darauf ein Abfallen ganz unbekümmert darum, ob die Säure einwirkt oder nicht. Den folgenden Tag ist unter ausschließlich normalen Verhältnissen der Gang der Wasseraufnahme der gleiche, nur sind die absoluten Werte geringer. Bei den beiden Versuchen 18 und 19, wo eine Säurekonzentration von ca. 1 : 5000 wirksam war, muß es zweifelhaft bleiben, ob eine Einwirkung der Säure vorliegt. Die aufgenommenen Wassermengen werden sukzessive während des einen Versuchstages kleiner. Da unter der Einwirkung der Säure sehr bald Injektionen auftreten und die Blätter am Ende des Versuches beschädigt sind, so kann die Depression in der Wasseraufnahme wohl in einer Schädigung der Blattzellen durch die Säure begründet sein. In den Rauchschadengebieten treten, mindestens in den Gegenden, wo die chronischen Schäden beobachtet werden, so hohe Konzentrationen nicht auf; es kommen diese zweifelhaften Ergebnisse deshalb nicht in Betracht. Aus den anderen Versuchen ergibt sich auch hier wieder die Wirkungslosigkeit der Säureeinwirkung.

Quercus pedunculata. Der Versuch 22 in unserer Tabelle 3 wurde mit Säure in der Konzentration 1 : 3900 ausgeführt. Vorher und nachher herrschten normale Verhältnisse. Aus den Schwankungen, welche sich hier zwischen 65 und 58 bewegen, ergibt sich deutlich, daß eine Depression der Wasseraufnahme ausbleibt, fällt doch z. B. das Maximum

in die Zeit der Säurewirkung. Im Versuch 20, wo die einwirkende Säure 1 : 103000 betrug, war die Aufnahme annähernd gleich mit und ohne Säure. Die vorhandenen Schwankungen sind nicht auf ihren Einfluß zurückzuführen. Im Versuch 21 geht am ersten Tage unter der Einwirkung der Säure 1 : 50000 die Menge des aufgenommenen Wassers sukzessive zurück, am folgenden Tage sehen wir ein allmähliches Anwachsen der Menge bis zu einem Maximum mit darauffolgendem Abfall. Hier könnte es also scheinen, als wenn die Säure die Wasseraufnahme ungünstig beeinflußte. Ob es sich so verhält, läßt sich aus den Zahlen nicht entscheiden. Diesem einen Versuch mit dem fraglichen Ergebnis stehen aber die beiden anderen Versuche mit negativem Ergebnis gegenüber.

Vitis vinifera. In unserem Versuch 24 sind anfänglich die unter normalen Verhältnissen und unter Einwirkung der Säure (1 : 149000) aufgenommenen Wassermengen gleich groß, dann sinken sie, während die Säureeinwirkung andauert. Da der Versuch nicht fortgesetzt wurde, so bleibt es zweifelhaft, ob den folgenden Tag die Mengen wieder angewachsen sind. Daß übrigens bei abgeschnittenen Zweigen oder Sprossen die aufgenommenen Wassermengen vielfach normalerweise sehr schnell sinken, ist eine bekannte Tatsache, und mag auch in den früher besprochenen Versuchen hier und da zum Ausdruck gekommen sein, wird übrigens durch einen anderen mit dem Weinstock ausgeführten Versuch bestätigt. Am ersten Tage wurde ein Säureversuch ausgeführt; er begann mit einer Konzentration 1 : 236000 und schloß mit einer solchen von 1 : 302000; die stündlich aufgenommenen Wassermengen gingen sukzessive von 96 bis auf 20 herunter. Am folgenden Tage unter normalen Verhältnissen waren die aufgenommenen Wassermengen ziemlich konstant, aber sie überstiegen den absoluten Wert von 19—17 nicht.

Ganz ähnlich wie der Weinstock in dem ersten der beiden beschriebenen Versuche verhielten sich auch die Zweige von Betula alba (Versuch 23, Tabelle 3), Robinia Pseud-acacia und Populus nigra. In allen diesen Versuchen wurden die stündlich aufgenommenen Wassermengen immer geringer, trotzdem die relative Feuchtigkeit, soweit sie ermittelt wurde, konstant blieb. Zum Teil waren die aufgenommenen Wassermengen ausreichend, um den Wasserbedarf des Zweiges zu decken, in anderen Fällen aber nicht, so wurde in einem Versuch mit der Birke und mit der Pappel beobachtet, daß einige Blätter welkten. Wenn sich nun in diesen Versuchen die aufgenommene Wassermenge allmählich vermindert, so darf das nicht ohne weiteres als eine Säurewirkung betrachtet werden, denn, worauf oben schon hingewiesen wurde, aus irgend welchen inneren Ursachen verlangsamt sich mit der Zeit die Wasseraufnahme bei abgeschnittenen Zweigen, ganz besonders aber, wenn ihre Schnittfläche erst

mit Luft in Berührung gekommen ist. Das war nun bei meiner Versuchsanstellung nicht zu vermeiden. Ich bin deshalb geneigt, die allmähliche Verminderung in der Wasseraufnahme auf diesen Umstand bei den erwähnten Zweigen und bei dem Weinstock zurückzuführen. Bei der einen Pflanze tritt die Erscheinung in rascherem Tempo auf als bei der anderen, weshalb sie nicht bei den Zweigen aller Versuchspflanzen beobachtet wurde.

Acer Pseudo-Platanus. Von den drei in unserer Tabelle 3 aufgeführten Versuchen lehrt Versuch 26 unzweifelhaft, daß bei Einwirkung von Konzentrationen wie 1 : 52500—1 : 58500 die Wasseraufnahme nicht durch die Säure beeinflußt wird; während ihrer Wirkungsdauer wächst die aufgenommene Wassermenge sogar an. Nicht so klar ist das Ergebnis des Versuches 27, wo die Säurewirkung augenscheinlich zu einer Zeit einsetzt, wo die Wasseraufnahme aus inneren Ursachen schon im Sinken ist. Immerhin ist hier wohl der Einfluß der Säure bei der angewendeten Konzentration 1 : 98000 ausgeschlossen. Anders liegen die Verhältnisse bei dem Versuch 25, wo eine Konzentration von 1 : 4000 $^5/_4$ Stunden lang einwirkte. Hier sinkt die aufgenommene Menge auf 33,5 herab, um sich unter normalen Verhältnissen zunächst wieder bis auf 46 zu erheben; alsdann sinken die Mengen aber auf 35 und 32 Teilstriche herab. Die Depression zur Zeit der Säurewirkung kann also ebenso gut auf innere Ursachen wie auf eine Einwirkung der Säure zurückgeführt werden. Jedenfalls bietet auch dieser Versuch keinen sicheren Beweis für eine Beeinflussung der Wasseraufnahme durch die schweflige Säure.

Salix spec. Oben wurde auf das Mißliche in der Verwendung von Zweigen zu Untersuchungen über die Wasseraufnahme hingewiesen. Das geeignetste Objekt wären Wasserkulturen. Von solchen standen mir leider nur zwei zur Verfügung, eine Weide und eine Pappel. Bei letzterer verunglückte die Untersuchung über die Wasseraufnahme. Die Ergebnisse über die Untersuchung mit der Wasserkultur der Weide sind in dem Versuch 28, Tabelle 3, aufgeführt. Zunächst ist ersichtlich, daß die Wasseraufnahme aus inneren Ursachen bedeutenden Schwankungen unterliegt. Da die Weide keine bewegliche Spaltöffnungen hat, dürfte der Wechsel von Licht und Dunkelheit bei konstanten sonstigen Verhältnissen keinen Einfluß auf die Wasseraufnahme ausüben; augenscheinlich begünstigt aber auch bei dieser Pflanze das Licht die Wasseraufnahme. Eine Beeinflussung derselben durch die Säure ist nicht zu beobachten, allerdings kamen auch nur schwache Konzentrationen 1 : 267000 — 1 : 930000 zur Anwendung.

Die Versuche über die Wasseraufnahme, richtig interpretiert, lassen keine Beeinflussung derselben durch die schweflige Säure erkennen. In meinen nach der vorstehend beschriebenen Methode ausgeführten Versuchen bin ich insofern von der v. Schroeder'schen abgewichen, daß ich wohl

die Menge des aufgenommenen aber nicht die Menge des abgegebenen Wassers bestimmt habe. Eine häufige Wägung des Zweiges wäre ausgeschlossen gewesen, es wäre zur Unmöglichkeit geworden bei stündlichen Bestimmungen. Da es mir aber mit Rücksicht auf die aus inneren Ursachen eintretenden Veränderungen der Wasseraufnahme wünschenswert erschien, die Versuche möglichst auf kurze Zeiträume zu beschränken, war die v. Schroeder'sche Wägungsmethode nicht brauchbar. Immerhin bot mir mein Untersuchungsmaterial Gelegenheit, auch einige Versuche so auszuführen, daß nicht nur die Menge des aufgenommenen Wassers ermittelt, sondern auch die Menge des abgegebenen Wassers durch Wägung festgestellt wurde.

Unter den Assimilationsversuchen findet sich je ein Exemplar von Cereus grandiflorus, Allium Cepa, und Abutilon palmatum, welche so montiert wurden, daß die beiden ersten Pflanzen als Wasserkultur benutzt werden konnten, während die dritte als Topfexemplar in einen Zinktopf eingelötet worden war, so daß ein Wasserverlust nur durch die Pflanze hindurch statthaben konnte. Diese Exemplare wurden von Zeit zu Zeit gewogen, so daß genau der Wasserverlust, also die Transpiration festgestellt werden konnte. Nachstehend sind die Versuchsergebnisse aufgeführt.

Datum	Dauer der Versuche	Anzahl Stunden	Art der Assimilation	Dauer der Assimilation Stunden	Transpiriert. Wasser g
		Cereus grandiflorus.			
7. IV.	9^{10}—7^{45}	10 Std. 35′	säurefrei	3	1,00
8. IV.	9^{10}—6^{30}	9 „ 20′	1 : 54000	4	1,30
9. IV.	9^{30}—7^{20}	9 „ 50′	säurefrei	4	1,20
12. IV.	9^{20}—7	9 „ 40′	„	4	0,00
14. IV.	9^{30}—7^{15}	9 „ 45′	1 : 106000	4	0,50
15. IV.	10—7	9 „	säurefrei	4	0,30
		Allium Cepa.			
15. III.	9^{15}—7^{10}	9 „ 55′	säurefrei	4	0,50
17. III.	9^{30}—6^{45}	9 „ 15′	1 : 67000	4	1,00
18. III.	9^{30}—7^{10}	9 „ 40′	säurefrei	4	0,70
		Abutilon palmatum.			
22. III.	9^{20}—7	9 „ 40′	säurefrei	4	9,00
24. III.	9^{20}—7^{50}	10 „ 30′	1 : 52000	4	9,00
26. III.	9^{35}—7	9 „ 25′	säurefrei	4	6,00

Bei Cereus grandiflorus hat die Assimilation mit Ausnahme vom ersten Tage täglich vier Stunden gedauert, die Einwirkung der schwefligen Säure

am 8. und 14. April ebenso lange. Der Zeitraum, für welchen die Transspiration ermittelt wurde, ist annähernd an allen Tagen gleich groß. Eine ungünstige Beeinflussung der Transpiration durch die Säure ist nicht zu beobachten, viel eher das Gegenteil. An den Tagen, an welchen die Säure einwirkte, ist gerade am meisten transpiriert worden. Das ist freilich wohl nur ein Zufall, aber dies Verhalten zeigt doch, daß die Spaltöffnungen sich nicht schlossen, als die Säure einwirkte. Da wenigstens für den ersten Teil des Versuches eine Assimilationsverminderung zu konstatieren war, so ist damit erwiesen, daß sie nicht auf einem Spaltenschluß beruht.

Ein ganz ähnliches Resultat lieferten die Versuche mit Allium Cepa und mit Abutilon palmatum. Die Assimilation dauerte jedesmal vier Stunden, und ebenso lange wirkte die Säure ein. In dem Versuch mit Allium war gerade am Säuretage am meisten, und in den mit Abutilon an diesem Tage wenigstens nicht erheblich weniger als am vorhergehenden transpiriert worden, so daß auch hier eine nachteilige Beeinflussung der Transpiration und damit des Spaltöffnungsapparates nicht zu verzeichnen ist. Der geringere Wasserverlust bei Abutilon am dritten Tage ist nicht auf eine Nachwirkung der Säure zurückzuführen, sondern auf den Verlust von Blättern. Vordem die Pflanze für die Versuchszwecke in das Institut gebracht wurde, hatte sie in einem Gewächshause zugebracht. Infolge dieses Ortswechsels fiel ein Teil der Blätter ab.

Bei Cereus, Allium und Abutilon, bei denen die Säure in verhältnismäßig hoher Konzentration einwirkte, ist nichts zu beobachten, was auf eine Beeinflussung des Spaltöffnungsapparates schließen ließe. Anders sind die Ergebnisse eines Versuches mit einer Wasserkultur der Rotbuche. Schon im Jahre 1896 habe ich diesen Versuch ausgeführt, als ich noch nicht über Einrichtungen verfügte, welche eine quantitative Bestimmung der zugegebenen schwefligen Säure gestatteten. Die Wasserkultur war drei Wochen lang in wöchentlichen Bestimmungen auf die Transpirationsgröße untersucht worden. Sie unterlag in diesen Intervallen Schwankungen. Es wurden in der ersten Woche 54, in der zweiten 73 und in der dritten 57 g Wasser transpiriert. Je nachdem man den Durchschnitt aus allen oder aus der letzten nimmt, betrug die transpirierte Menge 8,96 resp. 8,14 g in 24 Stunden. Am 10. September wurde die Wasserkultur für eine Stunde unter einer Glocke den Dämpfen von schwefliger Säure ausgesetzt. Bei der Herausnahme zeigten die Blätter geringe Injektionen, auf welche an anderer Stelle näher eingegangen werden wird. Der Farbenton der Blätter war unverändert, während der Glanz der Blätter etwas geringer geworden war. Am 10. September 6 Uhr nachm. waren geringe Injektionen zu beobachten, am 11. September 10 Uhr 30 Min. vorm. waren die Injektionen verschwunden, aber die Blätter waren glanzlos und gelblich geworden,

am 12. September 10 Uhr 30 Min. vorm. waren sie graubraun geworden und blieben es. Die Wägungen ergaben folgende Werte:

10.	Sept.	10	Uhr	30′	bis	11.	Sept.	10	Uhr	30′	V. 24	Std.	6,7 g Wasser
11.	„	10	„	30′	„	12.	„	11	„	30′	V. 25	„	5,5 g „
12.	„	11	„	30′	„	13.	„	10	„	45′	V. 23¼	„	5,75 g „
13.	„	10	„	45′	„	14.	„	11	„		24¼	„	5,13 g „
14.	„	11	„		„	16.	„	10	„	30′	V. 47½	„	8,80 g „
16.	„	10	„	30′	„	17.	„	10	„	30′	V. 24	„	4,47 g „

Sa. 36,35 g Wasser

Nach Einwirkung der Säure ist die Transpiration geringer geworden. In 7 Tagen wurden nur 36 1/3 g transpiriert, in 24 Stunden durchschnittlich etwas über 5 g. Außerdem ist aus den aufgeführten Zahlen ersichtlich, daß die transpirierte Menge immer geringer wird. Hier ist also ein Einfluß der Säure auf die Spaltöffnungen zu bemerken, wie sich ja auch eine intensive Einwirkung auf die Blätter durch die Verfärbung zu erkennen gibt. Da immerhin die transpirierte Menge noch ziemlich ansehnlich ist, kann die Säure keinen vollständigen Schluß der Spalten bewirkt haben, denn es ist nicht wahrscheinlich, daß, wenn die transpirierte Menge von 8 g auf 5 g in 24 Stunden gesunken ist, nur die Differenz von 3 g auf die stomatäre Transpiration entfallen sollte. So spricht selbst dieser Versuch, wo eine Einwirkung der schwefligen Säure auf die Spaltöffnungen angenommen werden muß, nicht zugunsten einer starken Einwirkung.

Aus den vorstehend mitgeteilten Ergebnissen unserer Untersuchung ist ersichtlich, daß die Wasserbewegung durch die schweflige Säure nicht beeinflußt wird, wenn sie in solcher Konzentration zur Anwendung gelangt, daß die Blattsubstanz nicht beschädigt wird, und zwar ist das Ergebnis das gleiche, ob die Wasserabgabe oder die Wasseraufnahme geprüft wurde. Aber auch dann, wenn die Säurewirkung eine Beschädigung der Blattsubstanz im Gefolge hatte, ist durchaus nicht immer eine Beeinflussung bemerkbar. In dem Versuch mit der Wasserkultur der Buche tritt sie deutlich hervor, aber diese Beeinflussung dürfte stets nur eine indirekte sein, indem mit den durch die Säure getöteten Blattpartien auch ihre Schließzellen getötet werden. Zugunsten der Ansicht, daß die Schließzellen unter der Einwirkung der Säure sich schließen, wenn sie nicht getötet werden, konnten keine Tatsachen beigebracht werden. So muß denn auch die Assimilationsverminderung lediglich auf eine direkte Beeinflussung der Chloroplasten zurückgeführt werden. Dies aus der Untersuchung über die Wasserbewegung geschöpfte Ergebnis ist eine Bestätigung der direkten mikroskopischen Untersuchung und der Versuche mit Pflanzen, denen die Spaltöffnungen oder wenigstens deren Bewegungsfähigkeit fehlt.

Wenn v. Schroeder auf Grund seiner Versuche hinsichtlich der Wasseraufnahme und Wasserabgabe zu so ganz anderen Schlüssen kam, so ist das auf die Verwendung zu hoher Konzentrationen, wodurch Komplikationen infolge des Absterbens von Blattsubstanz auftraten, und auf Nichtberücksichtigung der nicht unbedeutenden individuellen Differenzen der Zweige zurückzuführen. Überraschend ist, daß Burgerstein, dem die den Versuchen mit Zweigen anhaftenden Fehlerquellen sehr genau bekannt sein müßten, an den Versuchsergebnissen v. Schroeders keinen Anstoß genommen und sie als einwandsfrei in seiner Monographie über »Die Transpiration der Pflanzen«[1]) reproduziert hat. Zu bedauern ist auch, daß die v. Schroeder'schen Versuchsergebnisse ohne Kritik und Nachprüfung, obgleich ich[2]) bereits 1899 darauf hingewiesen habe, daß eine solche wünschenswert wäre, Aufnahme in das Handbuch von Haselhoff und Lindau[3]) gefunden haben, denn dadurch werden diese falschen Vorstellungen für lange Zeit konserviert.

Als meine Untersuchungen über die Beeinflussung der Wasserbewegung durch schweflige Säure lange abgeschlossen waren, fand ich, daß auch Oliver[4]) diesen Punkt geprüft hat. In seinen Versuchen mit Acer Pseudo-Platanus ergab sich eine beträchtliche Verlangsamung der Wasseraufnahme, die um so bedeutender war, je höher der Gehalt der Luft an Säure war. Überraschenderweise macht sich die Einwirkung der Säure, unmittelbar, nachdem sie in die Kammer, wo sich der Zweig befand, hineingebracht worden war, bemerkbar, allerdings kamen verhältnismäßig hohe Konzentrationen zur Anwendung: 1 : 13300, 1 : 6700. Da ich diese Versuche nach der von Oliver befolgten Methode nicht mehr nachmachen konnte, muß ich es dahingestellt sein lassen, ob die Methode selbst ganz einwandsfrei ist. Sollte es der Fall sein, so würde durch diese Versuche bewiesen sein, daß bei hoher Konzentration die schweflige Säure die Wasseraufnahme von Acer beeinflußt. Ein ähnliches Resultat ergab unser Versuch 25, in welchem die Konzentration 1 : 4000 eine Depression hervorgerufen zu haben scheint. Auch konnte ich darauf hinweisen, daß hohe Konzentrationen die Wasserabgabe beeinflussen können, da sie das Blattgewebe schädigen. Daß aber bei stärkerer Verdünnung der Säure, wo Beschädigungen ausbleiben, keine Beeinflussung der Wasser-

---

[1]) Jena 1904. S. 148.

[2]) Einwirkung der sauren Gase auf die Vegetation. Verh. naturhistor. Verein der preußischen Rheinlande, Westfalens und des Regierungsbezirks Osnabrück. 1899. S. 45.

[3]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Leipzig 1903.

[4]) On the effects of urban fog upon cultivated plants. Journ. of the Royal Horticultural Society Part I. Vol. XVI. 1893. S.-A. S. 26.

bewegung statthat, dürfte aus meinen Versuchen hervorgehen, und dies Resultat würde sich wahrscheinlich auch nach der von Oliver benutzten Methode ergeben.

V. Die Injektionen.

Mit der angeblichen Beeinflussung der Wasserzirkulation durch die Säure hat v. Schroeder[1]) eine Erscheinung in Verbindung gebracht, welche er zuerst beobachtet hat, und welche eine direkte Wirkung der Säure ist, die Nervaturzeichnung. Was darunter zu verstehen ist, ergibt sich am besten aus der Beschreibung von v. Schroeder selbst. Ein Spitzahornzweig hatte $5^1/_2$ Stunden unter dem Glasgehäuse verweilt, um beräuchert zu werden. Die einwirkende Konzentration belief sich auf 1 : 1000. »Schon nach etwa zwei Stunden begann das Blattparenchym mehr oder weniger fahl zu werden und diejenigen Partien, die in der Nähe der größeren Nerven liegen, treten durch lichteres Grün hervor, zugleich zeigt sich nun die Depression der Verdunstung, die bis zum Abend fortdauert. Während der Nacht, wo auch die normale Verdunstung auf ein Minimum reduziert ist, wird der Unterschied bei den Zweigen (dem beräucherten und einem Kontrollzweig) fast ganz ausgeglichen. Vom Mittag zum Abend hatte das krankhafte Aussehen der mit schwefliger Säure behandelten Zweige bedeutend zugenommen, die Blätter gewähren nun durch die Regelmäßigkeit der auf ihnen hervortretenden Zeichnungen ein höchst zierliches Bild. Alle in der Nähe der Hauptnerven und seinen nächsten Verzweigungen liegenden Stellen des Blattgewebes erscheinen zu beiden Seiten bis auf einige Entfernung von den Nerven hellgrün, während die weiter abliegenden Teile des Gewebes matt und fahl sind. Indem die Nerven auf diese Weise beiderseits von zwei schmalen hellgrünen und transparenten Gewebestreifen begleitet sind, tritt das ganze Netz derselben als Zeichnung deutlich aus den fahlgrünen Blättern hervor. Wir haben diese Nervaturzeichnung fast ebenso schön später bei der Rotbuche beobachtet, ferner auch bei Weißbuche, Birke und einigen anderen Laubhölzern. Als bei unserem Versuche die Spitzahornzweige am folgenden Morgen zeitweilig ins direkte Sonnenlicht gestellt wurden, steigerte sich die Differenz in der Verdunstungsgröße aufs Maximum und zugleich beobachteten wir an den kranken Blättern an den Nerven in den hellen Gewebspartien ein Hervortreten von Tröpfchen, die wie Honigtau aussahen und deren Erscheinen hier wohl auch dieselbe Ursache wie beim Honigtau zugrunde liegt. Als die Zweige am 25. aus dem direkten Sonnenlicht auf zwei Stunden, von 10—12 Uhr, in die Dunkelheit des

[1]) l. c. S. 73.

Kellers kamen, glich sich die Differenz in der Verdunstung wieder aus, um bei erneuter Einwirkung des Sonnenlichtes nochmals stark hervorzutreten. Der gesunde Zweig hatte am Ende des Versuches mehr Wasser verdunstet, als er aufgenommen hatte, und war daher leichter geworden, der kranke Zweig war schwerer geworden, indem nicht alles aufgenommene Wasser verdunstet werden konnte.«

Die Nervaturzeichnung konnte v. Schroeder immer nur an Zweigen beobachten, welche im Wasser standen, an in Töpfen oder im freien Lande wurzelnden Bäumchen konnte sie bei Einwirkung von Säure nicht wahrgenommen werden. Da er sie mit einer Störung der Wasserzirkulation in Zusammenhang brachte, führte er das Ausbleiben der Erscheinung an den bewurzelten Pflanzen auf Wassermangel in den Zweigen und Blättern derselben zurück. Zur Prüfung dieses Sachverhaltes stellte er folgenden Versuch an. Ein Spitzahornbäumchen des freien Landes wurde zwei Stunden lang der Einwirkung der schwefligen Säure ausgesetzt; dann wurde der Stamm hart über der Erde abgeschnitten und in Wasser gestellt. Drei Stunden später zeigten die meisten Blätter eine deutliche Nervaturzeichnung. An einem in gleicher Weise geräucherten Kontrollbäumchen, welches nicht abgeschnitten wurde, blieb sie aus. Später ist es v. Schroeder auch gelungen, durch starkes Begießen die Nervaturzeichnung an den im freien Lande wurzelnden Bäumchen, wenn auch nicht stark, so doch deutlich hervorzurufen. Die Ursache der Nervaturzeichnung erblickt v. Schroeder in einer abnormen, ungleichen Verteilung des Wassergehaltes über das gesamte Gewebe des Blattes, indem durch die Einwirkung der schwefligen Säure das normale Verhältnis zwischen Wasseraufnahme, Fortleitung und Transpiration gestört sein soll. »Das aufgenommene Wasser wird nicht vollkommen genug weiter geleitet, sondern dringt zumeist in die den Nerven zunächst anliegenden Gewebeteile, welche als heller grüne und wasserreichere Streifen hervortreten. Nimmt die Einpressung des Wassers ohne gehörige Verdunstung weiter zu, so tritt dasselbe, wie wir beobachteten, in Form von Tröpfchen (Honigtau) an den Nerven hervor. Die den Nerven entfernter liegenden Teile des Blattgewebes erscheinen am meisten desorganisiert, sind fahl, mattgrün und aller Wahrscheinlichkeit nach auch wasserärmer. Die Richtigkeit dieser Erklärung erhellt namentlich auch aus dem Umstand, daß bei beginnender Austrocknung der kranken Blätter die Nervaturzeichnung sofort verschwindet, wie wir vielfach beobachtet hatten[1]).«

Von dem Auftreten solcher Nervaturzeichnungen an Blättern beräucherter Zweige kann man sich leicht überzeugen. Schon 1896 habe

[1]) l. c. S. 75.

ich die Versuche v. Schroeders mit Buchen- und Eichenzweigen nachgemacht. Damals standen mir nur sehr primitive Einrichtungen zur Verfügung, und so war ich nicht in der Lage, die Versuche quantitativ auszuführen, d. h. den Konzentrationsgrad der einwirkenden Säure anzugeben. Auf Porzellanteller stellte ich Glasstürze, unter die die mit einem Korken in kleinen mit Wasser gefüllten Medizingläsern befestigten Zweige gebracht wurden. Die schweflige Säure entwickelte sich durch Abdunsten wässeriger schwefliger Säure, welche in einem kleinen Schälchen unter dem Glassturz stand. Roh konnte die Konzentration dadurch geregelt werden, daß man mehr oder weniger wässerige Säure in das Schälchen tat. Auch mußte der kürzere oder längere Aufenthalt der Zweige unter der Glocke die Intensität der Einwirkung erheblich beeinflussen. Als Kriterium, daß die Säure konzentriert genug war oder lange genug eingewirkt hatte, diente das Auftreten der Nervaturzeichnung oder das Auftreten von Beschädigungen. Hatte die Säure eingewirkt, wurden die Zweige unter dem Glassturz herausgenommen und frei ins Zimmer gestellt; direkte Besonnung war ausgeschlossen. Die Versuche wurden im September und Anfang Oktober ausgeführt. Sehr leicht und sehr schön treten die Nervaturzeichnungen bei der Buche auf, bedeutend schwerer schon bei der Eiche. Eine genaue Beschreibung der 44 von mir ausgeführten qualitativen Versuche mit der Buche und Eiche dürfte überflüssig sein.

Die Nervaturzeichnungen werden durch Injektionen der Interzellularen des Mesophylls mit Wasser hervorgerufen. Dadurch wird das Gewebe heller grün und transparent. Alle die von v. Schroeder geschilderten Erscheinungen am Spitzahornblatt treten ebenso und sehr schön an den Buchenblättern auf. Die Injektionen beginnen an den starken Seitennerven und erstrecken sich von diesen aus mehr oder weniger tief in das zwischen den beiden parallelen Nerven liegende Mesophyll, sich möglichst immer den Nerven anschließend. Der mittlere Teil des Mesophylls bleibt immer frei von Injektionen. Welchen Umfang diese überhaupt annehmen, hängt, wie schon aus diesen qualitativen Versuchen hervorging und durch spätere quantitative Versuche bestätigt wurde, von der Konzentration und der Dauer der Einwirkung der Säure ab.

Von den 17 mit der Buche ausgeführten Versuchen traten in 4 Versuchen keine Injektionen auf. In dem einen derselben waren keine Veränderungen zu bemerken, während in den drei anderen wenigstens Beschädigungen auftraten. Die Beschädigungen machen sich immer in einer bleibenden Verfärbung bemerkbar, die der Vorbote des Todes ist.

Ob die Injektionen bereits während der Einwirkung der Säure auftreten, hängt von der Konzentration der schwefligen Säure und von der Versuchsdauer ab. Meistens traten sie erst auf, als die Zweige sich wieder

in der normalen Atmosphäre befanden; wo sie bereits unter Einwirkung der Säure erschienen, sind sie später noch stärker geworden. Die Nachwirkung kommt vielfach erst sehr spät zur Geltung, wie das folgende Beispiel zeigt. Die Säure hatte am 5. September von 10—$11^1/_4$ Uhr eingewirkt. Der Zweig war aus dem Glassturz herausgenommen und ins Zimmer gestellt worden. Erst am 7. September 9 Uhr vorm. machte sich das erste Auftreten der Injektionen ganz schwach bemerkbar. Eine Stunde später waren sie bereits deutlicher und haben sich seitdem noch erheblich gesteigert. Am 8. September um $9^1/_2$ Uhr vorm. waren in vielen Blättern starke Injektionen vorhanden, während sie in anderen schon stark vermindert oder gar verschwunden waren.

Über kurz oder lang verschwinden die Injektionen immer wieder, indem das Wasser aus den Interzellularen verdampft, mögen nun die Blätter am Leben bleiben oder zugrunde gehen. Ist die Einwirkung der Säure einigermaßen energisch und sind demgemäß die Injektionen umfangreich gewesen, so kann man ziemlich sicher darauf rechnen, daß die Blätter später absterben.

Bei der Eiche treten augenscheinlich die Injektionen schwerer auf als bei der Buche, wie sie ja auch nach anderer Richtung hin unverkennbar weniger empfindlich gegen die schweflige Säure ist als die Buche. Von 17 Versuchen wiesen nur 10 Injektionen auf, in einigen Fällen waren sie obendrein sehr unbedeutend. Vielfach waren bei der Eiche die Injektionen bereits aufgetreten, als die Zweige unter den Glasstürzen herausgenommen wurden. In einigen Fällen traten sie erst später auf, aber so lange Nachwirkung wie bei der Buche habe ich niemals beobachtet. Auch bei der Eiche beginnen die Injektionen von den Seitennerven aus. Einige Male habe ich bei ihr die auch von v. Schroeder erwähnte und als Honigtau bezeichnete Ausscheidung von Tropfen, welche hier auf den Nerven erschienen, wahrgenommen, während sie bei der Buche niemals von mir beobachtet wurde.

Ohne besonders darauf gerichtete Versuche angestellt zu haben, habe ich doch im weiteren Verlaufe meiner Untersuchungen wiederholt Gelegenheit gehabt, das Auftreten der Injektionen bei verschiedenen Pflanzen zu beobachten und besonders auch für die Rotbuche namentlich gelegentlich der Untersuchungen über die Beeinflussung der Wasserzirkulation durch die Säure annähernd die Grenzkonzentrationen für das Auftreten der Injektionen festzustellen.

Das Vorkommen von Injektionen habe ich außer an Buche und Eiche noch beobachtet bei Acer Pseudo-Platanus, Tilia europaea, Prunus Laurocerasus, Carpinus Betulus, Populus nigra und Salix. Auch bei diesen Pflanzen treten durchaus nicht immer dann die Injektionen auf, wenn sie

auf Grund der angewandten Konzentrationen und des Vorkommens von Beschädigungen erwartet werden können. Bei derselben Konzentration fehlen sie bei der nämlichen Pflanze das eine Mal, während sie das andere Mal vorhanden sind. Am leichtesten und schönsten scheinen sie mir bei der Rotbuche aufzutreten; sie reagiert am schärfsten auf die Säure, da die Injektionen bei ihr auch von Konzentrationen hervorgerufen werden, auf welche andere Pflanzen überhaupt nicht mehr reagieren. Oben haben wir gesehen, daß selbst im freien Raume, wo eine ausgiebige Transpiration stattfinden kann, die Injektionen als Nachwirkung der Säurewirkung auftreten. Natürlich müssen sie, da durch die Verdunstung immer etwas Wasser aus den injizierten Interzellularen verloren geht, noch schärfer hervortreten, wenn die beräucherten Zweige im abgeschlossenen Volumen unter einer Glocke gehalten werden. Diese Vorsichtsmaßregel wird notwendig, wenn es sich darum handelt, die leisesten Anzeichen von Injektionen festzustellen, und sie ist deshalb besonders in den Versuchen mit der Buche befolgt worden. Eher oder später, nachdem die Wirkung der Säure aufgehört hatte, wurden die Zweige im abgeschlossenen Volumen sich selbst überlassen. Die folgenden 8 Versuche bieten die Möglichkeit, sich ein Urteil darüber zu bilden, bei welcher Verdünnung noch Injektionen auftreten können. Sie gehören mit zu den Versuchen, welche über die Einwirkung der Säure auf die Wasserbewegung ausgeführt wurden und sind mit Ausnahme von 5 und 8 in der Tabelle 3 aufgeführt.

Nr. des Versuchs	Konzentration der Säure	Tabelle 3 Nr.
1	1 : 5000	19
2	1 : 4470	18
3	1 : 94000	17
4	1 : 230000	14
5	1 : 415000	—
6	1 : 648000	15
7	1 : 660900 bis 1 : 727000	16
8	1 : 823500 bis 1 : 1098000	—

Bei 1—4 traten im Gefolge der Injektionen Beschädigungen auf, bei 6—8 verschwanden die Injektionen wieder, ohne Spuren zu hinterlassen. Versuch 5 ist vielleicht zu zeitig abgebrochen worden, um festzustellen, ob Beschädigungen auftraten; er wurde beendet, als am Morgen nach eintägiger Säurewirkung das Vorhandensein von Injektionen festgestellt worden war. Sicher ruft nach diesen Versuchen eine Verdünnung von 1 : 250000, wahrscheinlich aber auch noch eine solche von 1 : 500000 Beschädigungen hervor, während die Grenze für das Auftreten von Injektionen etwa bei 1 : 1000000 liegen dürfte. Die Buche ist demnach außerordentlich emp-

findlich. Nun stehen aber zu diesen Versuchsergebnissen andere im schroffen Gegensatz. Während die vorstehenden Versuche im August 1902 bei diffusem Tageslichte angestellt wurden, wurde in analoger Weise ein Versuch mit drei Buchenzweigen am 1. August 1904 direkt in der Sonne ausgeführt. Zu starkes Licht wurde abschattiert. Die Säure wirkte in der Konzentration von 1 : 44000 von 11—4 Uhr 15 Min. ein. Um diese Zeit mußte der Versuch abgebrochen werden; an einigen Blättern waren Injektionen, aber trotz der hohen Konzentration keine Beschädigungen aufgetreten. Die Zweige wurden nicht weiter beobachtet, sondern am folgenden Morgen wurde ein neuer Versuch mit drei Zweigen begonnen. Die Einwirkung der Säure dauerte von 11 Uhr vorm. bis 7 Uhr nachm., dann wurde die Pumpe abgestellt und die Zweige verblieben während der Nacht unter der Glocke. Am 3. August morgens waren Injektionen an allen drei Zweigen vorhanden, bei einigen Blättern waren sie verhältnismäßig schwach, bei anderen sehr stark; bei den meisten Blättern verloren sie sich wieder, ohne eine Spur zu hinterlassen. An zwei Zweigen starben von den obersten Blättern Partien ab. Dies Resultat mußte außerordentlich überraschen, da man von vornherein eine stärkere Einwirkung der Säure in der Sonne als im diffusen Tageslichte erwartete. Die Versuche waren gerade deshalb angestellt worden, um diese Behauptung zu bekräftigen. Wenn es nun auch bekannt ist, daß die Säure in den Rauchschadengebieten bei trocknem sonnigen Wetter weniger nachteilig wirkt als bei feuchtem, so trafen doch diese Verhältnisse für unsere Versuche nicht zu. Dadurch, daß in beiden Fällen die Luft durch Schwefelsäure hindurchstreichen mußte, kam sie immer relativ trocken an den Zweig; im diffusen Lichte war die umgebende Luft also nicht feuchter als im Sonnenlicht. Im Gegenteil, die Luft mußte sogar in der der Sonne ausgestzten Glocke feuchter sein, da die Blätter unzweifelhaft assimiliert haben, was immer mit Aushauchen größerer Mengen Wasserdampfes verbunden ist. Eine Erklärung für das ungleiche Verhalten der Zweige im Jahre 1902 und 1904 vermag ich nicht zu geben. Ob die ungleichen Vegetationsbedingungen der beiden Jahre auch die Empfindlichkeit der Buchenblätter gegen schweflige Säure beeinflußt haben, oder ob hier lediglich ein ungleiches individuelles Verhalten vorliegt, kann wohl nur aus weiteren umfangreicheren Untersuchungen ermittelt werden. Der Unterschied in der Empfindlichkeit ist so bedeutend, daß man diese Tatsache nicht ignorieren kann; denn ob sich hier individuelle Verschiedenheiten oder die Einflüsse der Vegetationsverhältnisse bemerkbar machen, in beiden Fällen ist es für die Praxis gleich bedeutungsvoll. Das ungleiche Verhalten von Individuen oder von verschiedenen Teilen eines Individuums in den Rauchschadengebieten, was in der Literatur immer wieder betont wird, könnte dadurch eine passende Illustration erfahren.

Übrigens liegen aus demselben Jahr 1902 noch andere Untersuchungen über die Buche vor. Bei den in Tabelle 1 aufgeführten 9 Assimilationsversuchen mit Topfexemplaren sind bei 6 Exemplaren Beschädigungen aufgetreten und zwar bei Anwendung der folgenden Konzentrationen:

1 : 191000, später 1 : 64500
1 : 144000
1 : 176000
1 : 317000; 1 : 87400
1 : 176000
1 : 125000

Hier sind also schon bei erheblich stärkeren Verdünnungen Beschädigungen erschienen. Während bei 1 : 317000 Beschädigungen auftraten, konnten bei Anwendung der Konzentrationen 1 : 283000, 1 : 227000, 1 : 292000 keine beobachtet werden. Also auch hier bedeutende individuelle Verschiedenheiten, aber niemals blieben die Beschädigungen bei den hohen Konzentrationen aus, welche aber erheblich geringer sind, als die im Jahre 1904 benutzten. Aus dem Jahre 1902 liegen mir auch noch einige Versuche mit Zweigen vor, in denen höhere Konzentrationen mit wechselndem Erfolge zur Anwendung kamen.

Am 30. Juli wurden 4 Buchenzweige in den Apparat gebracht; sie standen in einem Gefäß mit Wasser, und schweflige Säure wurde in der gewohnten Weise durchgesogen. Beleuchtung war diffuses Tageslicht im Laboratorium. Die Einwirkung dauerte von 1—4 Uhr, die Konzentration betrug 1 : 80800. Als die Zweige um 4 Uhr herausgenommen wurden, waren keine Beschädigungen zu bemerken. Am 1. August war 1 Blatt beschädigt. Am 4. August, wo zum letzten Male beobachtet wurde, hatte sich nichts geändert. Am Nachmittag des 30. Juli wurde ein zweiter ebensolcher Versuch mit 4 Buchenzweigen angestellt. Die Säure wirkte von 4—7 Uhr in der Konzentration 1 : 155000 ein. Bei Beendigung des Versuches waren keine Beschädigungen vorhanden. Am folgenden Nachmittag wiesen zwei junge Blätter Verfärbungen auf. Weitere Veränderungen sind bis zum 4. August nicht eingetreten.

In ganz ebensolcher Weise wurden am 31. Juli 2 Versuche mit je 3 Buchenzweigen ausgeführt. Von 12 Uhr 45 Min. bis 4 Uhr wirkte die Konzentration 1 : 110000, von 4 Uhr 30 Min. bis 7 Uhr nachm. die Konzentration 1 : 54400 ein. Nach Beendigung des betreffenden Versuches wiesen die Zweige keine Beschädigungen auf. Von den Zweigen aus dem Vormittagsversuch wies ein Blatt am 2. August Beschädigungen auf; am 4. August waren an 3 Blättern Beschädigungen aufgetreten. Ebenso waren an diesem Termin an den Zweigen aus dem Nachmittagsversuch einige Blätter leicht beschädigt.

Am 1. August wurde noch ein fünfter Versuch mit 3 Buchenzweigen ausgeführt. Da eine hohe Konzentration, 1 : 5950, zur Anwendung gelangte, wirkte die Säure nur eine Stunde ein (4 Uhr 10 Min. bis 5 Uhr 10 Min.). Beschädigungen waren um diese Zeit noch nicht eingetreten, auch zwei Stunden später noch nicht, als die Pumpe abgestellt und die Zweige herausgenommen wurden. Am 2. August morgens waren mit Ausnahme eines einzigen die Blätter eines Zweiges, welcher in Wasser gestanden hatte, injiziert. An den beiden anderen Zweigen war die Injektion wahrscheinlich ausgeblieben, weil sie nicht mehr im Wasser standen, da es inzwischen erschöpft worden war. Sie wurden nun wieder in Wasser gestellt und zeigten am Nachmittag um 3 Uhr 30 Min. dieselben Injektionserscheinungen wie der erste Zweig. Am 4. August morgens, wo die nächste Beobachtung stattfand, waren die Injektionen verschwunden. Die gesamten Blätter waren beschädigt, sie waren olivgrün bis braun gefärbt.

Daß erhebliche individuelle Verschiedenheiten hinsichtlich des Auftretens von Injektionen und Beschädigungen vorkommen, wird klar, wenn man allein alle die im Jahre 1902 ausgeführten Versuche miteinander vergleicht. Es könnte also auch das Versuchsergebnis aus dem Jahre 1904 auf solche individuelle Verschiedenheiten zurückzuführen sein, doch halte ich es nicht für ausgeschlossen, daß sich in der großen Widerstandfähigkeit auch die Vegetationsverhältnisse des betreffenden Jahres widerspiegeln.

Das Auftreten von Injektionen konnte bei Acer Pseudo-Platanus in drei Fällen einmal beobachtet werden, und zwar als die Konzentration 1 : 98000 (Tab. 3, Nr 27) $6^1/_2$ Stunde einwirkte. In den beiden anderen Fällen 1 : 4000 und 1 : 52500 bis 1 : 58500 (Tab. 3, Nr. 25 u. 26) wurden nur Beschädigungen beobachtet. Die Injektionen traten in Versuch 27 auch als Nachwirkung auf.

Bei der Eiche wurden die Injektionen auch nur in einem von drei Fällen beobachtet. Am 14. Juli 1903 war ein Eichenzweig 2 Stunden lang einer Säurekonzentration von 1 : 7000 ausgesetzt. Bei Beendigung des Versuches war ein junges Blatt zusammengerollt, Verfärbungen und sonstige Beschädigungen waren nicht vorhanden, ebenso fehlten Injektionen. Eine Stunde später waren außerhalb der Glocke neue Injektionen aufgetreten, das zusammengerollte junge Blatt war verdorrt, die anderen Blätter waren wenig beschädigt. Die beiden Versuche 21 und 22 (Tabelle 3) haben nur Beschädigungen gezeitigt. In Versuch 21 wirkte am 23. August 1903 eine Konzentration von 1 : 50000 $7^1/_2$ Stunden ein; die Beschädigungen wurden erst am 25. August beobachtet. In Versuch 22 wirkte eine Konzentration 1 : 3900 $1^3/_4$ Stunden lang am Vormittag ein. Kleine Beschädigungen wurden abends bei Beendigung des Versuches sichtbar.

Mit der Hainbuche wurde ein einziger Versuch ausgeführt. Am 14. Juli 1903 wirkte eine Konzentration von 1 : 7000 zwei Stunden lang ein. Bei Beendigung des Versuches zeigte der Zweig keine Veränderung; er wurde aus der Glocke heraus genommen. Eine Stunde später waren in den Blättern Injektionen aufgetreten. Am 15. Juli nachm. waren die Injektionen verschwunden, aber die Blätter zeigten an den Rändern Beschädigungen.

Trotz mehrerer Versuche mit Prunus Laurocerasus wurde nur in einem einzigen Fall das Auftreten von Injektionen beobachtet. In der Tabelle 3 über die Wasserbewegung sind 6 Versuche mit verschiedenen Konzentrationen angeführt worden. Die Einwirkung von 1 : 118000 bis 1 : 127000 (Nr. 9) und von 1 : 42000 (Nr. 10) blieb ohne nachteilige Folgen, in den Versuchen 7, 8, 12 unter Einwirkung der Konzentrationen 1 : 27000, 1 : 14000—1 : 6700 und 1 : 130900 traten Beschädigungen auf, Injektionen aber nur in Versuch 11, als die Konzentration 1 : 3900 $4^1/_2$ Stunden eingewirkt hatte.

Injektionen wurden auch an Lindenblättern in einem von zwei Versuchen beobachtet. Am 13. Juli 1903 (vergl. S. 57) hatte eine Konzentration 1 : 6100 zwei Stunden lang auf einen Zweig eingewirkt. Bei Beendigung des Versuches waren die Lindenblätter ziemlich stark angegriffen. Auch waren Injektionen aufgetreten. Diese waren am 14. Juli 9 Uhr morgens stärker geworden, auch waren die Blätter stark zusammengerollt. Am 15. Juli nachm. waren die Blätter vertrocknet. Der andere Versuch dauerte 7 Stunden, die Konzentration betrug 1 : 6300. Es traten Beschädigungen ohne Injektionen auf (vergl. S. 58).

Mit Pappel sind drei Versuche angestellt worden, bei denen Beschädigungen auftraten; nur in einem Fall wurden Injektionen beobachtet. $1^1/_2$ Stunden lang wirkte am 14. Juli 1903 nachm. eine Konzentration von 1 : 6300 ein (vergl. S. 58). Bei Beendigung des Versuches waren gelbgrüne kleine Flecken auf den Blättern aufgetreten. 14 Stunden später waren die Blätter wenig mehr beschädigt, als tags vorher; die Injektionen waren noch vorhanden. Am folgenden Tage wurde ein neuer Versuch mit einem Pappelzweige ausgeführt (vergl. S. 58). Die Säure wirkte zwei Stunden lang in der Konzentration 1 : 6500 ein. Injektionen sind überhaupt nicht aufgetreten; unmittelbar nach Beendigung des Versuches war ein junges Blatt beschädigt. Am Nachmittag desselben Tages waren alle Blätter beschädigt. Nach Beendigung des Versuches hatten in beiden Fällen die Zweige außerhalb der Glocke zugebracht.

Zu gleicher Zeit mit den beiden Pappelzweigen waren auch zwei Weidenzweige der Einwirkung der Säure unterworfen worden. Bei der Weide waren in beiden Fällen Injektionen aufgetreten. Im ersten Ver-

such waren eine Stunde nach seiner Beendigung ziemlich große Flecken auf den Blättern vorhanden. Am Vormittag des folgenden Tages hatten die Beschädigungen Fortschritte gemacht. Jetzt waren auch Injektionen zu beobachten, am Nachmittag desselben Tages waren die beschädigten Blätter vertrocknet. Beim zweiten Versuch waren die Injektionen unmittelbar nach Beendigung des Versuchs schon vorhanden. Am Nachmittag des folgenden Tages waren sie verschwunden und alle Blätter beschädigt. In einem dritten Versuch (vergl. S. 57), in welchem die Konzentration 1 : 6100 zwei Stunden wirksam war, waren die Blätter unbeschädigt. Eine Stunde später waren sie teils verwelkt, teils mit braunen Flecken versehen. Am folgenden Morgen um 9 Uhr waren die Blätter ganz welk und stark verfärbt. Injektionen waren nicht aufgetreten. In allen drei Versuchen wurden die Zweige nach Beendigung des Versuches aus der Glocke herausgenommen.

Eine bestimmte Regel, wann die Injektionen bei denjenigen Pflanzen auftreten, welche die Fähigkeit zur Injektionsbildung besitzen, läßt sich nicht aufstellen, augenscheinlich müssen noch bestimmte bisher unbekannte Bedingungen erfüllt sein. Ob diese Bedingungen der höhere oder niedrigere Wassergehalt in den Blättern ist, wie v. Schroeder annimmt, wage ich nicht zu entscheiden. Es ist ja nicht zu verkennen, daß das Gewebe der abgeschnittenen Zweige wasserreicher sein könnte, als das der bewurzelten Pflanzen, indem das Wasser bei ihnen durch den Luftdruck bis in die Blätter hineingepreßt wird, während die Wasseraufnahme bei diesen wesentlich nur von der Wasserabgabe abhängt. Aus einem Zusammenhang der Injektionen mit dem Wassergehalt der Gewebe ließen sich die v. Schroeder'schen Versuche mit beräucherten und bewurzelten Bäumchen verstehen, in denen die Injektionen erst auftraten, als der Stamm abgeschnitten und mit der Schnittfläche in Wasser gestellt wurde. Als ich einen Zweig von einer Topfbuche, welche im Räucherhause beräuchert wurde, abschnitt und im Laboratorium mit der Schnittfläche in Wasser unter eine Glocke stellte, traten keine Injektionen auf, selbst als er zwei Tage lang beobachtet wurde. Ebensowenig wurden Injektionen sichtbar, als abgeschnittene Buchenzweige, welche mit der Schnittfläche in Wasser standen, mehrere Tage im Räucherhause zubrachten.

Es lag nahe, die außerordentlich große Empfindlichkeit der Buche gegen schweflige Säure, die sich im Auftreten von Injektionen bei starken Verdünnungen dokumentiert, zum Nachweis der Säure in der Luft zu verwenden. Bringt man unter eine luftdicht schließende Glasglocke einen Zweig mit der Schnittfläche in Wasser und saugt die Luft aus dem betreffenden Rauchschadengebiet durch die Glocke hindurch, so müßten Injektionen auftreten, wenn der Gehalt der Luft an schwefliger Säure inner-

halb der oben angegebenen Grenzen liegt. Ich habe einen einzigen derartigen Versuch in der Probstey bei Stolberg i. Rh. angestellt, allerdings mit negativem Ergebnis. Der Gehalt der Luft an Säure lag innerhalb der wirksamen Grenzen. Es wäre wünschenswert, derartige Versuche in größerem Maßstabe zu wiederholen; vielleicht, daß man doch zu einem brauchbaren Resultate kommen würde. Soviel steht fest, daß Blätter von den Buchen, welche im Probsteywalde der chronischen Rauchwirkung unterliegen, bei Einwirkung höherer Konzentrationen unter allen Vorsichtsmaßregeln im Laboratorium das Auftreten von Injektionen erkennen lassen.

Neben der Möglichkeit einer praktischen Ausnutzung für die Rauchschadenexpertise interessiert an den Injektionen am meisten ihr Zustandekommen. v. Schroeder hat sich darüber eine ziemlich unklare Vorstellung gebildet. Auf S. 193 wurde sie kurz mitgeteilt. Augenscheinlich stellt er sich die Wasserbewegung so vor, daß das Wasser von hinten her in die Zweige hineingepreßt wird, dies Hineinpressen hält der Transpiration unter normalen Umständen die Wage; bei Einwirkung der Säure soll die Transpiration herabgedrückt werden; wenn nun die pressende Kraft die gleiche bleibt, muß ein Überschuß an Wasser in dem Blattgewebe auftreten, das in den Interzellularen ein Unterkommen findet. Es müßte also hier eine Kraft analog der Wurzelkraft mit im Spiele sein. Diese Erklärung ist unrichtig, da sie von falschen Voraussetzungen ausgeht. Schneidet man Zweige unter Wasser ab, so stürzt dasselbe bekanntlich mit Lebhaftigkeit in die Gefäße hinein, weil sie verdünnte Luft enthalten. Wenn aber die Spannung ausgeglichen ist, was verhältnismäßig schnell eintreten muß, so kann der Luftdruck nur noch insofern wirken, als er dafür sorgt, daß nicht wieder luftverdünnte Räume durch die Transpiration in den Gefäßen entstehen. Die Gewebe der abgeschnittenen Zweige werden dadurch verhältnismäßig wasserreicher sein als die der bewurzelten Pflanze. Wenn man die Transpiration unterbindet, so kann doch niemals durch den Luftdruck Wasser in die Interzellularen des Blattmesophylls hineingepreßt werden, was die v. Schroeder'sche Erklärung voraussetzen würde. Wäre sie richtig, so müßten die Injektionen schon auftreten, wenn nur die Transpiration sistiert wäre, ganz unabhängig von der Einwirkung der Säure. Wenn das von vornherein auch schon als ausgeschlossen gelten kann, so habe ich doch noch besondere Versuche mit Buchenzweigen angestellt, um mich zu überzeugen, daß die Injektionen bei unserer Versuchsmethode ausbleiben, falls die Säurewirkung ausgeschlossen ist. Mit der Wasserbewegung als solcher können die Injektionen nichts zu tun haben. Es handelt sich um einen Vorgang, den man als Blutungsvorgang ansprechen muß, um wässerige Ausscheidungen aus lebenden Zellen und zwar der Blattgewebe. Normalerweise bluten die

Zellen nicht, aber unter der Einwirkung der Säure erlangen sie diese Fähigkeit. Übrigens haben wir in den Injektionen nicht etwa eine spezifische Reaktion der Zellen auf schweflige Säure, sondern sie verhalten sich ebenso gegen Salzsäure und Chloroform und vielleicht auch gegen manche andere gasförmige Stoffe, nur daß man noch keine Veranlassung gehabt hat, solche zu prüfen. Auftreten von Injektionen unter Einwirkung von Salzsäure habe ich bei einer ganzen Reihe von Pflanzen feststellen können. Mit Chloroform habe ich nur die Buche geprüft.

Die Injektionen sind also eine Reizerscheinung und haben ihr Analogon in der künstlichen Hervorrufung des Blutens bei Wurzelsystemen. Früher habe ich[1]) gezeigt, daß man Wurzelsysteme, welche freiwillig nicht bluteten, zum Bluten bringen kann, wenn man sie für einige Zeit in Lösungen bestimmter Stoffe hineinstellt. Sie schieden dann aus dem Stammquerschnitt Wasser aus, entweder in dem Medium selbst, oder als sie in Wasser zurückgebracht wurden. Als Untersuchungsmaterial dienten damals Impatiens glandulifera, Abies pectinata, Ampelopsis quinquefolia, Vitis vinifera, Salix alba, Populus canadensis, Lycium flaccidum, Syringa chinensis, Betula alba, Ribes rubrum. Durch den einen oder anderen Stoff konnte an diesen Pflanzen die Blutungserscheinung hervorgerufen werden. Als sehr wirksam erwiesen sich salpetersaures Kalium in verschiedenen Konzentrationen, schwefelsaure Magnesia, phosphorsaures Natrium, Glyzerin in verschiedenen Konzentrationen, $^1/_2\,\%$ Koffeïn und $^1/_2\,\%$ salzsaures Chinin. Es handelt sich bei dieser Reizerscheinung um eine Beeinflussung des Stoffwechsels der betreffenden Zellen der Wurzelsysteme, wodurch die Wasserausscheidung hervorgerufen wird. Auch bei den Injektionen muß es sich um eine Beeinflussung der Stoffwechselvorgänge der Blattzellen durch die Säure handeln. Daß durch die Einwirkung von Säure in den Zellen bedeutende Stoffumlagerungen stattfinden, geht aus Untersuchungen von Klemm[2]) hervor. Er ließ auf Haare verschiedener Pflanzen Salpeter-, Schwefel-, Salz-, Chrom-, Phosphor-, Wein-, Äpfel-, Zitronen-, Oxal- und Essigsäure in Konzentrationen von $^1/_2$ und $1\,‰$ einwirken. Die Vorgänge, welche sich in den Zellen abspielten, konnten unter dem Mikroskop verfolgt werden. Es fand eine derartige Steigerung des Turgors statt, daß nach einiger Zeit die Zellen platzten. Das Platzen erfolgte besonders an den jüngeren Haaren und stets an der Spitze, wo sie wuchsen, also wohl an dem Orte des geringsten Widerstandes. Bei

---

[1]) Das Bluten der Pflanzen. — Cohns Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Breslau 1892. 6. Bd. 1. Heft. S. 87 und »Über die Jahresperiode im Bluten der Pflanzen«. — Tharander Forstl. Jahrbuch. 43. Bd. S. 187.

[2]) Desorganisationserscheinungen der Zelle. — Pringsheim, Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik. Bd. 28, 1895. S. 658.

den hohen zur Anwendung gelangenden Konzentrationen führte die Einwirkung der Säure zum Tode. Bei den Injektionen kann das auch vorkommen, wie wir gesehen haben, es braucht aber nicht vorzukommen. Bei der Buche traten Injektionen auf, welche nach einiger Zeit wieder verschwanden, ohne nachteilige Folgen zu hinterlassen, wenn die Säure in ausreichender Verdünnung eingewirkt hatte. Die Injektionen bedingen also nicht den Tod der Zellen, sondern die beiden Erscheinungen kombinieren sich nur miteinander, wenn nach dem Auftreten der Injektionen die Blattsubstanz abstirbt. Die wässerigen Ausscheidungen können deshalb auch nicht dadurch zustande kommen, daß etwa unter einem gesteigerten Turgor die Zellen platzen und sich ihr wässeriger Inhalt in die Umgebung ergießt, sondern es muß sich um eine Wasserausscheidung wie bei den Zellen blutender Wurzelsysteme handeln. Die Mechanik dieser Ausscheidung muß in beiden Fällen die nämliche sein, und ich kann inbezug auf sie auf meine oben erwähnte Publikation und Pfeffer's Handbuch der Pflanzenphysiologie, 2. Aufl., Bd. 1 verweisen. Dieser Blutungsvorgang wird um so ausgiebiger verlaufen, je wasserreicher das Gewebe der Blätter ist, und hieraus würde sich ganz zwanglos erklären, warum die Erscheinung an den abgeschnittenen Zweigen, aber nicht oder nur unter ganz besonderen Umständen an den bewurzelten Bäumen auftritt. Auch der Aufenthalt im dampfgesättigten Raume muß die Injektionen begünstigen, während sie andererseits bei mangelnder Wasserzufuhr zu den Blättern ausbleiben müssen. Der auf S. 199 erwähnte Versuch mit drei Buchenzweigen illustriert das am besten. Am 2. August morgens waren die Injektionen nur an dem einen Zweige sichtbar; an den beiden anderen fehlten sie, weil alles Wasser in den Gefäßen verbraucht war. Als man ihnen aber frisches Wasser gab, traten sie am Nachmittag auch an den beiden anderen Zweigen auf. Es waren also durch die Einwirkung der Säure die Bedingungen zum Bluten geschaffen worden, und es hing nur von dem Wassergehalt der Gewebe ab, ob Bluten erfolgte. Hiernach macht es keine Schwierigkeit, sich vorzustellen, daß das ungleiche Verhalten verschiedener Individuen vielfach auch mit dem Wassergehalt der Blätter zusammenhängt. Daneben kann allerdings auch eine verschiedene Empfindlichkeit der Blattzellen einhergehen; denn ähnliches läßt sich auch bei den Blutungsvorgängen der Wurzelsysteme beobachten. Daß die Injektionen in der Nähe der Nerven beginnen und die Mitte der Interkostalfelder von ihnen freibleibt, dürfte wohl auch mit der Wasserversorgung, könnte freilich auch mit ungleicher Empfindlichkeit der Zellen gegen die Säure zusammenhängen. Alle diese Fragen lassen sich an der Buche, wo die Injektionen am leichtesten und sichersten auftreten, nicht entscheiden, weil die Zellen zu klein sind.

Je konzentrierter die einwirkende Säure ist, um so schneller müssen die Stoffumwandlungen in der Zelle verlaufen und um so eher treten die Injektionen auf. Häufig nehmen diese Stoffumwandlungen aber beträchtliche Zeit in Anspruch, so daß die Injektionen erst auftreten, wenn die Wirkung der Säure lange vorüber ist. Die durch diesen Reizvorgang eingeleiteten Stoffwechselverhältnisse halten nur kurze Zeit an, dann kehren die alten Verhältnisse wieder; das Wasser verdunstet aus den Interzellularen und neue Injektionen erscheinen nicht. So verhält es sich wenigstens, wenn sehr starke Verdünnungen auf die Zweige eingewirkt haben; bei stärkeren Konzentrationen folgt auf die Injektionen meistens der Tod der betreffenden Zellen.

Im vorstehenden habe ich immer den Ausdruck Injektionen und nicht die von v. Schroeder gewählte Bezeichnung Nervaturzeichnung angewandt, weil er präziser die Erscheinung kennzeichnet, und weil die Bezeichnung »Nervaturzeichnung« die Gefahr mit sich bringt, daß unsere Erscheinung mit einer anderen Art der Nervaturzeichnung verwechselt werden kann, auf die der Name sogar besser paßt. Sie beruht auf einer ungleich intensiven Färbung der Chloroplasten. Bald ist das Gewebe um die Nerven herum dunkler grün gefärbt, als die mittleren Partien der Interkostalfelder, bald ist das Verhältnis das umgekehrte. Dadurch entsteht eine charakteristische Nervaturzeichnung. Ich beobachtete sie zuerst in sehr ausgeprägter Weise an Eichen in der kleinen Probstey und im Eschweilerer Walde (siehe die Karte auf S. 19) und hielt sie für eine Wirkung der schwefligen Säure. Da diese die Fähigkeit hat, das Chlorophyll zu bleichen, war es nicht unmöglich, daß sie ihre Wirkung in dieser Weise äußerte. Später habe ich dieselbe Erscheinung auch an Orten, wo Rauchwirkungen ausgeschlossen waren, so an Eichen in der Nähe des Aachener Stadtwaldes und an Rändern von Feldern, ferner an Castanea vesca auf dem Lousberg bei Aachen beobachtet. Diese Nervaturzeichnung dürfte also nichts mit einer Säurewirkung zu tun haben, sondern auf Ernährungsstörungen beruhen. Da sie aber auch in Rauchschadengebieten auftritt und vielleicht häufiger als anderswo, so liegt eine Verwechslung mit der v. Schroeder'schen Nervaturzeichnung nahe, wenngleich diese nur in den Experimenten auftritt, was aber leicht von denjenigen, welche mit den Verhältnissen nicht vertraut sind, übersehen werden kann. Ich möchte deshalb vorschlagen, die Bezeichnung »Injektionen« für die von v. Schroeder'sche Nervaturzeichnung einzubürgern und mit dem Ausdruck »Nervaturzeichnung« die andere Erscheinung zu belegen.

VI. Langdauernde Einwirkung starker Verdünnungen der Säure auf die Pflanzen im Räucherhause.

In den in den vorausgehenden Abschnitten beschriebenen Versuchen konnte der Einfluß der Säure auf die Assimilation, die Wasserbewegung und das Absterben der Zellen nur in kurzen Zeiträumen und bei verhältnismäßig höheren Konzentrationen untersucht werden. Da, wie wir gesehen haben, die Säure aber in den Blattzellen gespeichert wird, so war es sehr wahrscheinlich, daß auch sehr viel geringere Konzentrationen, wenn sie nur lange genug auf die Pflanzen einwirken, nicht wirkungslos bleiben. Das Auftreten von Rauchschäden, der sogenannten chronischen Schäden, in sehr weiter Entfernung von der Rauchquelle spricht zugunsten einer derartigen Auffassung. Ferner hat auch Wislicenus[1]) Versuche mit der Fichte veröffentlicht, welche die starke Benachteiligung der Pflanzen durch 2 Monate lang einwirkende sehr geringe Säurekonzentrationen erkennen lassen. Zur richtigen Würdigung der Wirkungsweise der schwefligen Säure war es notwendig, lang dauernde Versuche auch mit Laubbäumen auszuführen. Man hätte dazu den für die Assimilationsversuche benutzten Apparat verwenden können und man würde dann sehr exakte Resultate erhalten haben. Aber einer derartigen Versuchsanstellung standen schwerwiegende Bedenken gegenüber. Bei der Handhabung des Apparates im Freien — und um möglichst ähnliche Verhältnisse wie in den Rauchschadengebieten zu erhalten, mußten die Versuche im Freien ausgeführt werden — wäre man auf große Schwierigkeiten gestoßen, die allerdings überwindbar gewesen wären, der Hauptnachteil dieser Versuchsanstellung lag aber darin, daß die Versuche nur auf ein einziges oder sehr wenige Exemplare hätten ausgedehnt werden können. Da aber immer mit individuellen Differenzen gerechnet werden muß, es auch wünschenswert war, mehrere Pflanzenarten in die Untersuchung hinein zu ziehen, schien es mir zweckmäßiger, mich der bis dahin vielfach benutzten Methode, welche von Wislicenus die brauchbarste Form erhalten hatte, zu bedienen. Ich habe deshalb diese Versuche in einem Räucherhause ausgeführt, welches nach dem Muster des Wislicenus'schen[2]) konstruiert war. Es war aus Holz und Glas gebaut, hatte eine rechteckige Grundfläche $3^1/_3$ qm und war bis zum Ansatz des Satteldaches 2 m hoch. Das Satteldach selbst hatte in der Mitte eine Höhe von 0,45 m, so daß das Haus

[1]) Resistenz der Fichte gegen saure Rauchgase bei ruhender und bei tätiger Assimilation. Tharander forstliches Jahrbuch, Bd. 48.

[2]) In seiner Publikation hat Wislicenus eine Abbildung seines Räucherhauses gegeben, welche von Haselhoff und Lindau in ihrem Handbuch »Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch« auf S. 73 reproduziert worden ist.

einen Rauminhalt von 7 cbm faßte. Das Haus war ursprünglich so fest gefugt und dicht auf einen mit Asphalt überzogenen Boden aus Backsteinen aufgesetzt, daß die Luft nur von der Türseite eindringen konnte, und zwar durch eine Öffnung in der unteren Türfüllung. Die Tür selbst konnte vollkommen abgedichtet werden. Die Topfpflanzen konnten direkt auf den Boden des Hauses oder auf Bretter, welche entlang den Längsseiten liefen, gestellt werden. Die Stellung der Pflanzen hing von ihrer Höhe ab.

Die schweflige Säure wurde durch Verbrennen von Schwefelkohlenstoff mittels Alkohol gewonnen. Als Brenner diente mir ebenso wie Wislicenus ein Bündel Glaskapillaren, welches in eine große flache Glasschale tauchte, um eine möglichst konstante Flamme zu erhalten. So vollkommen wie Wislicenus habe ich diesen Zweck nicht erreicht, obgleich ich mich an die von ihm angegebenen Abmessungen gehalten habe. Mit dem Sinken des Alkoholspiegels verkleinerte sich auch die Flamme. Das Bündel Kapillaren wurde durch eine unten durchlöcherte Glashülle zusammengehalten. Obgleich die benutzten Kapillarröhren sehr eng waren, so stieg doch der Alkohol nicht in ihnen auf, sondern in den Zwischenräumen zwischen den Röhren und zwischen ihnen und der Wand der Glashülle. Als durch einen Zufall in dem einen Versuch ein Stück der Glashülle abbrach, wurde durch die vergrößerte Oberfläche die Flamme beträchtlich stärker. Durch die aufsteigende Wärme wurde eine Mühle in Bewegung gesetzt, welche unterhalb des Brenners vier Schaufeln bewegte, um die Säure gut mit der Luft zu mischen. Nach meinen Erfahrungen wird aber der beabsichtigte Zweck durch diese Einrichtung nicht befriedigend erreicht. Es treten im Hause Strömungen auf, wodurch der Säuregehalt in verschiedenen Teilen desselben ungleich wird. Das wird deutlich, wenn man Schälchen mit Jodlösung an verschiedenen Stellen des Hauses aufstellt; sie werden ungleich schnell entfärbt. Die Versuchsergebnisse stehen damit in vollem Einklang, indem die Pflanzen an verschiedenen Standorten im Hause ungleich leiden. Durch derartige Strömungen ist natürlich eine genaue Bestimmung der Konzentration ausgeschlossen. Diese kann ja überhaupt nur sehr roh und annähernd für ein derartiges Haus ermittelt werden, und ich möchte auf die Ermittlung des absoluten Wertes der Konzentration kein großes Gewicht legen. Übrigens gibt Wislicenus[1]) selbst zu, daß der mögliche Fehler sehr groß sein kann, und daß er sehr groß gewesen ist, haben ihm weitere Versuche bewiesen; denn während die tagsüber beräucherten Fichten in 2 Monaten bei einer Konzentration von 1 : 1000000 zugrunde gegangen sind, hat er durch spätere Versuche mit etwas besser regulierbarem Gasdurchzug feststellen können, »daß die Kon-

[1]) l. c.

zentration 1 : 500000 schweflige Säure selbst bei anhaltender Zufuhr und in relativ feuchter Luft erst im Verlaufe einer ganzen Vegetationsperiode imstande ist, chronische Schäden an jungen Fichten zu verursachen. Einzelne Exemplare bleiben dabei noch ganz lebenskräftig«.[2]) Da Wislicenus keine eingehenden Mitteilungen über seine neueren Einrichtungen und die Berechnungsweise der Säurekonzentration gemacht hat, so kann man natürlich nicht beurteilen, wie groß der mögliche Fehler ist, mit welchem sie behaftet sind.

Meiner Ansicht nach sind in einem solchen Räucherhaus, abgesehen von den bereits gerügten Übelständen, die Verhältnisse auch nicht konstant, da die Witterungsverhältnisse nicht ohne Einfluß auf die Strömungsverhältnisse im Räucherhause bleiben können. Ebenso wie der Zug in einem Schornsteine Schwankungen unterworfen ist, ebenso muß es auch mit dem Räucherhause sein. Nach den Temperatur-, Feuchtigkeits- und Windverhältnissen muß die Strömung im Hause bald befördert, bald verlangsamt sein, so daß die Konzentration erheblichen Schwankungen unterliegen kann, da der Brenner unabhängig hiervon immer die gleiche Menge Säure liefert. Die Längsachse meines Hauses war von Nordwest nach Südost gerichtet; die Tür befand sich an der nordwestlichen Seite. Es herrschen in Aachen die Winde aus der westlichen und südlichen Richtung vor.

Wie in jedem Gewächshause war es auch im Räucherhause notwendig, zu schattieren, damit bei zu starker Besonnung nicht Tötungstemperaturen erreicht würden, dennoch stieg an sehr heißen Tagen die Temperatur bis über 40° C. Die Notwendigkeit des Schattierens wird durch einige Fälle bewiesen, wo es unterblieben war, da keine hohen Temperaturgrade erwartet wurden, und die mit der Vernichtung ganzer Pflanzen oder eines Teiles ihrer Blätter endeten. Als Schattendecken dienten mit grobem Sackleinen überspannte Holzrahmen. Um eventuell auch das Räucherhaus im verdunkelten Zustande benutzen zu können, konnten die Schattenrahmen durch Rahmen ersetzt werden, welche mit Asphaltpappe überzogen waren.

Da die Einrichtung des Hauses nicht gestattete, den Gehalt der Luft an Säure genau zu bestimmen, so habe ich von vornherein darauf verzichtet, die Grenze zu ermitteln, bei welcher die sichtbare schädigende Wirkung der Säure an den Pflanzen ausbleibt, sondern mich darauf beschränkt, festzustellen, welche Veränderungen die Gewächse in ihrem Aussehen erleiden, wenn längere Zeit verhältnismäßig verdünnte Säure einwirkt. Durch

---

[2]) Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. Zeitschrift für angewandte Chemie 1901, Heft 28.

eine Variation der Menge Schwefelkohlenstoff, welche man dem Alkohol des Brenners zusetzt, kann man leicht eine Änderung der Konzentration der schwefligen Säure in dem Räucherhause herbeiführen.

Die Versuche sollten wesentlich dazu dienen, die Veränderungen kennen zu lernen, welche die Versuchspflanzen unter Einwirkung der Säure bei starker Verdünnung erleiden, und zu ermitteln, ob auf diese Weise an der Fichte und der Buche Veränderungen hervorgerufen werden, wie sie im Freien unter diesen Umständen auftreten und als chronische Beschädigungen bezeichnet werden. Auch sollte entschieden werden, ob die Ableitung der Assimilate durch die Säure beeinflußt wird. Besonders für diesen letzteren Zweck war es nötig, das Haus verdunkeln zu können.

A. Künstliche Hervorrufung chronischer Schäden.

Die Versuche wurden mit mehrjährigen Pflanzen, welche in Töpfen kultiviert worden waren, ausgeführt. Im Laufe der Zeit sind Fichten, Kiefern, Buchen, Eichen, Ahorn (Acer Pseudo-Platanus), Birke, Weinstock und Robinie untersucht worden, freilich nicht alle gleich lange und vor allen Dingen mit sehr ungleichem Erfolge. Die Kiefer wurde bald fallen gelassen, da irgend eine Beeinflussung nicht zu beobachten war. Auf Robinie mußte sehr schnell verzichtet werden, weil sie die durch den Aufenthalt im Topf gegebenen Versuchsbedingungen nicht vertrug. Am meisten habe ich mit Buche, Eiche und Weinstock experimentiert, während Fichte, Ahorn und Birke in zweiter Linie kamen.

Mit meinen Versuchen mit der Fichte habe ich nicht viel Glück gehabt. Weder ist es mir gelungen, durchgehends die typischen Erscheinungen der chronischen Beschädigungen, wie sie von v. Schroeder und Reuß geschildert werden, noch starke Beschädigungen in dem Umfange zu erhalten, wie sie von Wislicenus nach seinen Versuchen beschrieben werden. Hatte man die Konzentration zu niedrig gewählt, so zeigten die Nadeln gar keine Veränderungen, war sie ein anderes Mal zu hoch ausgefallen, so traten an akute Schäden gemahnende Beschädigungen auf. Nur in einem Versuche habe ich das Auftreten der gelben Färbung in den Nadeln beobachtet. Am 30. Mai 1902 wurden zwei Fichten zusammen mit einer Birke, einem Ahorn und zwei Buchen in das Räucherhaus gestellt. Am 31. Mai begann die Säurewirkung. Die beiden Fichten nahmen auf beiden Längsseiten des Häuschens die mittleren Plätze ein. Schon am 2. Juni zeigten sie Beschädigungen. An der links stehenden Fichte 2 waren sie hauptsächlich an alten Nadeln, an der Fichte 1 an vielen jungen Nadeln aufgetreten, doch zeigten hier auch einige Sprosse mit alten Nadeln Beschädigungen. Am 5. Juni ist Fichte 2 stark beschädigt, aber nur an den alten Nadeln; am 14. Juni haben auch die

Beschädigungen bei Fichte 1 Fortschritte gemacht. Als am 10. Juli der Versuch beendigt wurde, war Fichte 1 stärker als Fichte 2 beschädigt; beide aber ziemlich stark. Es waren rotbraune Nadeln vorhanden. Das Grün der jungen Nadeln hatte sich erheblich heller gefärbt und war heller als das der zugehörigen Topfpflanzen im Freien. Die beiden heller gefärbten Exemplare wurden ins Freie gestellt. Hier hielt sich den Sommer über die veränderte Farbe. Zum Winter wurden die beiden Topfpflanzen unter höhere Bäume gestellt, und blieben dort bis tief in den nächsten Sommer hinein. Die gelbe Farbe war wieder verschwunden, alle Nadeln hatten wieder die normale grüne Farbe angenommen. Die Veränderung der grünen Farbe an der Fichte im Räucherhause muß als Säurewirkung aufgefaßt werden. Vielleicht ist sie aufgetreten, weil mit einer verhältnismäßig hoch konzentrierten Säure experimentiert wurde. Infolge des oben erwähnten Defektes an der Glashülle der Kapillaren war der Konsum des Brenners an Alkohol doppelt so groß geworden, wie zu Beginn des Versuches und damit auch die Konzentration der Säure auf das Doppelte gestiegen. Wann der Defekt auftrat, und wie lange die höhere Konzentration einwirkte, konnte nachträglich nicht mehr ermittelt werden.

Ich bin geneigt, es auf den höheren Gehalt an Säure in der Luft des Räucherhauses zurückzuführen, daß auch an den anderen Versuchspflanzen im Laufe der sechs Wochen Verfärbungen und natürlich auch Beschädigungen aufgetreten sind. Nur bei der Birke blieb eine Verfärbung aus, während einige Blätter braun wurden und abstarben.

Beim Ahorn hatten sich namentlich die jungen Blätter verfärbt, indem sie ein scheckiges Aussehen annahmen. Zu dem Chlorophyllgrün gesellten sich gelbgrüne, fast gelbe Töne. Selbst bei andauerndem Aufenthalt des Exemplares im Freien hat es sich nicht wesentlich verändert; an einzelnen Stellen sind noch braune Töne hinzugekommen. Im übrigen wurde das Verhalten des Ahorns nicht eingehend untersucht.

Das Hauptinteresse konzentrierte sich bei diesem Versuch auf die beiden Buchen, welche sich verfärbt hatten. Buche 1 hatte ihren Standort auf der rechten Seite gleich beim Eingang in das Häuschen, Buche 2 auf der anderen Seite in der entgegengesetzten Ecke, wo augenscheinlich, wie manche Erfahrungen gelehrt haben, die Pflanzen am meisten unter der Säure leiden. Bei Beendigung des Versuches am 10. Juli waren die Blätter der Buche 1 etwas heller grün gefärbt, als vorher, während bei Buche 2 die Blätter einen gelbgrünen Ton angenommen hatten. Die im Freien befindlichen Topfbuchen der gleichen Serie zeigten eine derartige Verfärbung nicht, so daß hier unverkennbar eine Säurewirkung vorlag, Blätter oder Blatteile waren bei keinem der beiden Exemplare getötet worden, nur vereinzelte Flecken waren bei dem Exemplar 2 aufgetreten.

Die Buchen blieben ebenso wie die anderen Pflanzen noch etwa acht Tage im Räucherhaus, das während dieser Zeit andauernd verdunkelt gehalten wurde, um die Ableitung der Assimilate zu beobachten. Am 16. Juli wurden die Buchen herausgenommen und vor das Räucherhaus gestellt; seit dem 10. Juli hatten sie sich in ihrem Aussehen nicht geändert. So unverändert blieben sie zunächst auch im Freien. Nach einigen Tagen traten aber an der Buche 2 ganz erhebliche Veränderungen ein. Bei einem großen Teil der Blätter starben größere oder kleinere Partien der Blattfläche ab und färbten sich rotbraun, nahmen also die Färbung an, wie sie für Rauchbeschädigungen als charakteristisch angesehen wird. Das Absterben begann nicht plötzlich in vollem Umfange, sondern allmählich und hat im Laufe der Zeit augenscheinlich noch etwas zugenommen. Es ging immer vom Rande des Blattes aus und betraf zunächst das zwischen den seitlichen Rippen liegende Mesophyll. Der basale und mittlere Teil ist meistens auch an den Blättern, an denen große Partien abgestorben sind, erhalten geblieben. Die lebendig gebliebenen Teile der Blätter haben sich allmählich immer gelber gefärbt, und am 20. August hatte diese Buche einen vollständig herbstlich gelben Ton angenommen. Die Buche 1 hatte sich inzwischen nicht wesentlich verändert, außer daß sie etwas gelber geworden war; Blätter oder Blatteile sind aber nicht abgestorben. Es muß hier auch besonders hervorgehoben werden, daß beide Exemplare eher herbstlich verfärbt waren, als die sonstigen Topfbuchen, welche nicht der Beräucherung unterworfen worden waren.

Auf den oben beschriebenen Versuch mit den Fichten, Buchen, der Birke und dem Ahorn folgte am 4. August ein neuer Versuch mit 3 Eichen, 3 Buchen, 2 Bohnen (Phaseolus multiflorus). Die Aufstellung war folgende vom Eingang aus gerechnet, links: Eiche 3, Bohne 1, Eiche 2, Buche 1, rechts Buche 3, Bohne 2, Buche 2, Eiche 1. Der Versuch begann mit einer schwachen Konzentration, am 11. August begann eine stärkere Konzentration einzuwirken. Der Brenner war inzwischen wieder repariert worden. Am 18. August wurde an einem ins Innere des Hauses hineinragenden Zweig der Buche 2 und an der Bohne 2 eine leichte Verfärbung beobachtet. Am 21. August war die Buche 1 bedeutend gelber geworden. Auch Bohne 2 ist gelblich geworden; sie wird aus dem Hause herausgenommen. Am 27. August war der erwähnte verfärbte Zweig ziemlich stark verfärbt. Der Topf wird herausgenommen und vor dem Hause aufgestellt. Die Buche 1 und die Bohne 1 blieben bis zum 26. September im Räucherhause. Die Bohnenblätter waren gelb bis weiß verfärbt. Die Eiche 3 hatte am 4. September gelbliche Blätter; sie wurde aus dem Haus herausgenommen. Die Buche 3 und die Eichen 1 und 2 haben selbst bei Fortsetzung der Versuche keine Farbenveränderung der

Blätter aufzuweisen. Also auch an diesen Buchen wiederholt sich, was bereits im ersten Versuche beobachtet wurde, allerdings nicht in so hohem Grade, vermutlich weil der Gehalt der Luft im Räucherhause an Säure erheblich geringer war. Am intensivsten hat sich wieder die Buche verfärbt, welche den gefährdetsten Platz inne hatte (1), Buche 3 blieb vollständig unverändert, während an Buche 2, welche eine mittlere Stellung inne hatte, sich der exponierte Zweig verfärbte. Das ungleiche Verhalten der drei Exemplare muß hier ebenso wie das der beiden Exemplare aus dem ersten Versuch auf die im Räucherhause herrschenden Strömungen zurückgeführt werden. Während ihres Aufenthaltes im Freien hat sich der verfärbte Zweig der Buche 2 nur langsam weiter verfärbt, aber er war herbstlich verfärbt vor dem übrigen Laube dieser Pflanze.

Im Jahre 1903 wurde vom 23. Juni bis 6. Juli ein Versuch mit 2 Birken, 4 Buchen, 2 Eichen, 2 Ahornen und 2 Weinstöcken angestellt. Auf der linken Seite von der Türe aus standen Buche 1, Weinstock 1, Eiche 1, Ahorn 1 und Buche 2, auf der rechten Seite Weinstock 2, Buche 3, Eiche 2, Buche 4, Ahorn 2. Der Tür gegenüber standen die beiden Birken. Der Gehalt an Säure war ziemlich hoch. Es sollte durch den Versuch ermittelt werden, ob nicht die gleichen Verfärbungserscheinungen, welche bei dem ersten Versuch des vorhergehenden Jahres aufgetreten waren, bereits durch eine kurze Einwirkungsdauer als Nachwirkung erzielt werden konnten. Einige Tage nach Beginn des Versuchs waren die jungen Blättchen bei Ahorn, Buche und Birke tot, wahrscheinlich sind sie nicht durch die Säure, sondern durch zu hohe Wärme getötet worden, belief sich die Temperatur doch vorübergehend auf 45° in der Höhe des Brenners, in der Höhe der jungen Blätter wird also die Temperatur noch höher gewesen sein; die älteren Blätter waren alle unversehrt. Die erste Veränderung wurde am 1. Juli am Weinstock 1 beobachtet; die Blätter hatten einen matten Glanz angenommen. Weitere Veränderungen wurden bis zur Beendigung des Versuches weder an diesem Weinstock noch an den anderen Bäumen beobachtet. Am 6. Juli, an einem Montag, wurden die Pflanzen aus dem Räucherhause herausgenommen und neben die Kontrollpflanzen gestellt; im Vergleich mit diesen konnten so die Veränderungen verfolgt werden, welche an den beräucherten Exemplaren auftreten würden. Gegen Ende der Woche wurden Veränderungen an dem Weinstock 2 bemerkbar. Es verfärbten sich die Blätter etwa aus der Mitte des Stockes, also schon ältere. Zuerst traten bräunliche Punkte auf der Unterseite der Blätter auf. Alsdann erschien ein roter Farbstoff, wie er im Herbst beim wilden Wein und wohl auch bei einigen Rebensorten auftritt. Bei reichlichem Vorkommen erscheint das Mesophyll der beräucherten Pflanze rotbraun, während die Nerven von einem schmalen grünen Saum umgeben sind. Ist die

Beschädigung weniger weit vorgeschritten, so treten im Mesophyll nur entsprechende Flecken auf. Der Farbstoff nimmt mit der Zeit in den einzelnen Blättern zu und rückt allmählich von Blatt zu Blatt weiter vor, ergreift namentlich auch die jungen Blätter. Schließlich waren alle Blätter des Stockes mehr oder weniger stark gefärbt. Die Blätter waren meist nach rückwärts gekrümmt; sie fielen vor der Zeit ab, d. h. eher als die Blätter der Kontrollpflanze. Wie die Gestalt der Blätter erkennen läßt, gehört der Weinstock 2 einer anderen Varietät an als Weinstock 1. Bei der Herausnahme aus dem Räucherhause wies das Exemplar 1 außer dem matteren Glanz der Blätter keine Veränderung auf; höchstens waren die Blattflächen gekrümmt und zwar konkav nach unten. Am 20. Juli wurden auch an ihm Veränderungen beobachtet. An einzelnen Blättern traten dieselben bräunlichen Flecken auf, welche für das andere Exemplar erwähnt wurden, nur blieb der rote Farbstoff aus, dafür färbten sich die Blätter aber heller grün. Das Auftreten der bräunlichen Flecken machte nun nicht regelmäßige Fortschritte wie das des roten Farbstoffes an dem anderen Exemplar, sondern die Flecke waren in mehr oder weniger starkem Grade unregelmäßig über die Pflanze verstreut.

Als die Buchen aus dem Räucherhause herausgenommen wurden, zeigten sie keine Veränderungen. Mit der Zeit wurden aber auch an ihnen Veränderungen beobachtet, und zwar ging bei 2 und 3 das Dunkelgrün in ein helleres Grün über. Daneben traten bräunlichrötliche Töne auf. Rote Flecken wurden aber nicht wahrgenommen. Am 23. Juli war an dem Exemplar 2 ein Teil der Blätter an verschiedenen Teilen des Bäumchens ganz oder teilweise vertrocknet, unter Auftreten fahlgrüner, gelblichbrauner und brauner Töne. Rote Flecken wurden nur vereinzelt wahrgenommen. An den beiden anderen Buchen wurden keine Veränderungen beobachtet. Am 24. September wurden die Blätter der beiden Exemplare 2 und 3 auf ihren Gehalt an schwefliger Säure destilliert. 35 g Blätter lieferten 0,0017 g $BaSO_4$. Am 26. September wurden Blätter von drei gleichalterigen Topfpflanzen, welche nicht beräuchert worden waren, gleichfalls auf schweflige Säure destilliert. 70 g lieferten 0,0006 g $BaSO_4$. Die beiden beräucherten und beschädigten Exemplare sind also auch durch einen höheren Gehalt an schwefliger Säure ausgezeichnet.

Die beiden Eichen, Ahorne und Birken wiesen selbst am 27. August noch keine Veränderungen auf.

Im Jahre 1904 sollten die Versuche mit der Buche und dem Weinstock wiederholt werden, sie sind auch tatsächlich wiederholt worden, aber die Versuche mit der Buche sind durchaus unbrauchbar ausgefallen. Es lag das daran, daß alle die Topfbuchen, welche sich schon seit mehreren Jahren in den Töpfen befanden, mochten sie nun der schwefligen Säure

im Räucherhaus ausgesetzt gewesen sein oder ohne solche im Räucherhaus zugebracht, oder im Freien ohne irgend welche Behandlung gestanden haben, sich sehr zeitig verfärbten, so daß Beobachtungen über die schnellere oder langsamere Verfärbung, je nach den Umständen, welchen die Pflanzen ausgesetzt gewesen waren, nicht ausgeführt werden konnten. Dahingegen haben die Versuche mit dem Weinstock wiederum brauchbare Resultate geliefert. Ich beschränke mich deshalb darauf, die Versuche mit diesen eingehender zu besprechen.

Es kamen wiederum die beiden im Vorjahre benutzten Varietäten zur Verwendung und zwar wurden die beiden Versuche mit beiden Varietäten gleichzeitig ausgeführt. Für jeden Versuch wurde je ein Exemplar jeder Varietät als Vergleichsobjekt zurückbehalten, um die normalen Verhältnisse mit den pathologischen vergleichen zu können.

Der erste Versuch begann am 13. Juni, nachdem die Pflanzen bereits 3 Tage im Räucherhause zugebracht hatten, und endete am 2. Juli. Bei der Herausnahme zeigten die beiden Weinstöcke folgendes Verhalten. Gemeinsam war beiden, daß die Blattflächen sich vielfach konkav nach unten gekrümmt hatten. Außerdem hatten bei dem Exemplar 1 viele Blätter stark gelitten. Bei dem Exemplar 2 waren, soweit sich dies vergleichen ließ, nicht so viel tote Stellen in den Blättern vorhanden wie bei Nr. 1. Dafür traten an manchen Blättern braune Punkte auf, und an manchen Blättern erschien ebenso wie im Vorjahre die an den wilden Wein gemahnende Rotfärbung.

Am 13. Juli wurden die Veränderungen an den beiden Weinstöcken wiederum notiert. An dem Exemplar 1 ist ein Teil der stark beschädigten Blätter mitsamt den Blattstielen vertrocknet. Eine Rotfärbung ist nicht aufgetreten. Dahingegen zeigen einige, namentlich junge Blätter bräunliche Flecken. An dem Exemplar 2 ist der rote Farbstoff fast in allen Blättern aufgetreten.

Am 18. August wurden noch einmal die Veränderungen festgestellt. Nr. 2 ist durch die rote Färbung ausgezeichnet. Die jüngsten Blätter sind in allen Teilen grün, die anderen Blätter mehr oder weniger rot gefärbt. Manche von ihnen sind daneben noch grün, andere haben ein gelbgrünes Aussehen, wieder andere sehen gelb aus, und sie bilden den Übergang zu den vertrockneten und abgefallenen. An den Blättern von Nr. 1 sind braune Flecken in größerem oder geringerem Maße vorhanden; bei einzelnen Blättern haben sie solchen Umfang angenommen, daß große Blattpartien zerstört worden sind. Die jüngsten Blätter sind meistens frei von solchen Flecken und schön grün. Im Gegensatz zur Buche beginnt die Zerstörung der Blätter nicht vom Rande, sondern von der Basis der Nerven aus.

Der zweite Versuch dauerte vom 2. bis 13. Juli. Er wurde wieder mit zwei Exemplaren angestellt. Bei der Herausnahme der Exemplare aus dem Räucherhause nach Beendigung des Versuches war der Gesundheitszustand der Pflanzen der folgende.

An einigen älteren Blättern von Nr. 3 sind starke Beschädigungen zwischen den Rippen im Mesophyll vorhanden, welche braun aussehen. An einigen mittleren Blättern sieht man namentlich auf der Unterseite bräunliche Flecken. Bei Nr. 4 ist die Spreite der meisten Blätter konkav nach unten gekrümmt. Die dunkelgrüne Färbung ist bei den meisten Blättern in ein Gelbgrün übergegangen, was besonders deutlich beim Vergleich mit den nicht beräucherten Kontrollpflanzen hervortritt.

Am 18. August zeigten die beiden Weinstöcke 3 und 4 folgendes Verhalten. Nr. 4 hat stärker gelitten als Nr. 3. Bei letzterer kommt es kaum vor, daß die Blattspreiten nach unten gekrümmt sind. Roter Farbstoff ist bei keinem der beiden Exemplare aufgetreten. Sie gehören, wie aus der Gestalt der Blätter ermittelt wird, nicht zu der Varietät, zu welcher Nr. 2 gehört, sondern zu der anderen oder sogar zu einer dritten Varietät.

Die vier beräucherten Exemplare stimmen darin überein, daß sie alle ihre Blätter eher abgeworfen haben, als die nicht beräucherten.

Bei den von mir angewandten Konzentrationen, deren absolute Höhe ich nicht anzugeben vermag, treten an den verschiedenen Versuchsobjekten zweierlei Erscheinungen auf. Hier und da sind bald größere, bald geringere Gewebestücke aus den Blattorganen getötet worden. Ferner beobachtet man Verfärbungen des grünen Farbstoffs bei Buche, Weinstock, Ahorn und Fichte. Die einzelnen Exemplare einer und derselben Art verhalten sich in den verschiedenen Versuchen wie auch in demselben Versuch ungleich. Im ersteren Fall erklärt sich das aus der wechselnden Konzentration, im zweiten Fall aus dem Standort, den die Pflanzen im Räucherhaus eingenommen haben, wo sie durch die in ihm herrschenden Strömungen ungleichen Konzentrationen ausgesetzt gewesen sind. Sehr eigenartig ist das Auftreten eines roten Farbstoffs in den lebenden Blattzellen einer Varietät des Weinstocks, und charakteristisch sind die Nachwirkungen beim Weinstock und bei der Buche, indem nach Aufhören der Säurewirkung die Bildung des roten Farbstoffes beim Weinstock, die Verfärbung der Blätter und die Zerstörung von Blattgewebe bei der Buche und dem Weinstock fortschreitet. Mit den Veränderungen, welche die Blattorgane des Weinstocks und der Buche erleiden, ist ein vorzeitiger Blattfall verknüpft.

Von meinen mit Fichten ausgeführten Versuchen habe ich den einzigen verwendbaren oben mitgeteilt. Eine Verfärbung der Nadeln ist zwar

aufgetreten, aber gleichzeitig mit Beschädigungen an den älteren und jüngeren Nadeln. Diese Beschädigungen sind unzweifelhaft akuter Natur, also hervorgerufen durch den hohen Gehalt an schwefliger Säure in der Luft, von welcher die Nadeln betroffen wurden, und nicht etwa die Folge einer durch die Säureaufnahme hervorgerufenen inneren Erkrankung. Auf Grund meiner eigenen Erfahrungen möchte ich die Ergebnisse der Versuche von Wislicenus mit der Fichte, bei denen im Sonnenlicht alle sechs Pflanzen in 2 Monaten zugrunde gingen, auch als akute Rauchschäden bezeichnen. Die Versuche waren angestellt worden, um die chronischen Rauchbeschädigungen nachzuahmen. Vermutlich ist die angewandte Konzentration sehr viel höher gewesen, als Wislicenus angenommen hat. Aus seinen späteren Versuchen geht ja unzweifelhaft hervor, daß die Konzentration noch höher gewesen sein muß als 1 : 500000, aber leider nicht, wie hoch sie tatsächlich gewesen ist. Ich möchte nun annehmen, daß sie an und für sich schon ziemlich hoch gewesen ist, daß sie aber auch geschwankt hat, entsprechend den Veränderungen der Witterungsverhältnisse, so daß die Fichten infolge wiederholter akuter Anfälle zugrunde gegangen sind. Damit steht auch im Einklang, daß gerade die für die chronischen Rauchschäden charakteristischen Erscheinungen nicht auftraten oder sehr zurücktraten. Durch diese Kritik wird das wichtigste Resultat der betreffenden Untersuchung durchaus nicht berührt, daß das Licht unverkennbar die schädigende Wirkung der Säure außerordentlich steigert.

Die chronischen Beschädigungen der Fichte sind zuerst von v. Schroeder und Reuß[1]) beschrieben worden, welche sie in den Harzer Rauchschadengebieten beobachteten. Sie machen sich in einer Verfärbung der Nadeln geltend; die chlorophyllgrüne Farbe macht einem gelblichen Farbenton Platz. Eine weitere Folge der Beschädigung ist das vorzeitige Absterben der älteren Nadeljahrgänge. Bei schwacher Beschädigung sollen 5—6, bei mittlerer 3—4, bei starker nur 2 Jahrgänge, und zwar immer die jüngsten, vorhanden sein. Diese Charaktere hat man in den Versuchen niemals typisch erhalten können; selbst Wislicenus ist das in seinen sorgfältig ausgeführten Versuchen nicht gelungen. Sie enden nach zweimonatlicher Beräucherung der Versuchspflanzen mit einem Absterben derselben, als der Versuch bei Tageslicht ausgeführt wurde. Eine Umwandlung der grünen Nadelfarbe in eine gelbliche wurde nach dem Protokoll nicht beobachtet, sondern es trat Rotfärbung auf, meistens an der Spitze, aber auch unregelmäßig an den Nadeln. Ohne Wahl waren die letztjährigen und älteren Nadeln in Mitleidenschaft gezogen. Wo Rötung auf-

[1]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Berlin 1883. S. 191.

tritt, dürfte das Blattgewebe bereits abgestorben gewesen sein. Wenn sich auch nicht alle Exemplare gleich verhalten, so sterben sie doch alle unter Auftreten der rotbraunen Färbung an den Nadeln ab. Nur über das Exemplar 5 findet man die Angabe, daß am 12. August die Nadeln ein wenig verblaßt aussehen, sonst sind sie immer grün, wenn sie nicht rot geworden sind, und von demselben Exemplar wird unter dem 10. August mitgeteilt, daß die alten Nadeln meist gänzlich abgestorben sind und zu fallen beginnen. Das Krankheitsbild ist demnach im wesentlichen ein anderes, als wie es für die typischen chronischen Rauchschäden geschildert wird. Das ist auch Wislicenus nicht entgangen. »Die Symptome der naturgetreu nachgeahmten chronischen Raucherkrankungen scheinen auffallend regellos bei der hier zunächst benutzten Fichte. Es erscheinen kranke Nadeln direkt neben gesunden, teils von der Spitze, teils von der Basis aus verfärbt (fast nie jedoch bloß in der Mitte), teils schließlich über die ganze Oberfläche. Bald sind es die neuen Triebe, bald die alten Nadeln, die zuerst erkranken. Scheinbar gleich gesunde Individuen sind verschieden widerstandsfähig. Und doch ist das Gesamtbild das Charakteristische eines chronischen Rauchschadens.« Es scheint mir berechtigt, hier ein Fragezeichen hinzusetzen. Nur im Endresultat kommen die beiden Erscheinungen überein. Aus den Versuchen von Wislicenus geht hervor, daß man in 2 Monaten selbst bei Einwirkung einer verhältnismäßig schwachen Säurekonzentration die Fichte zum Absterben bringen kann. Aber die Versuchsbedingungen entsprechen nicht den in den Rauchschadengebieten herrschenden Bedingungen. Hier sterben die Nadeln ganz allmählich ab; der ganze Prozeß dauert mehrere Jahre; je nach der einwirkenden Konzentration führt er eher oder später zum Ziele. Die Nadeln sterben von rückwärts her ab, während die jüngeren erhalten bleiben, nur ihren Farbenton etwas verändern. Aber gerade diese beiden Symptome hat Wislicenus an seinen Versuchspflanzen nicht oder nur sehr untergeordnet beobachtet. Man kann auch kaum erwarten, daß bei kurzer Versuchsdauer diese Symptome auftreten, welche gerade den Stempel eines langsam wirkenden Prozesses an sich tragen. Man hätte nun vielleicht erwarten können, daß mit steigender Konzentration der einwirkenden Säure der ganze Vorgang sich schneller abspielen müßte, daß die chronischen, zum Tode führenden Beschädigungen, welche im Freien jahrelang in Anspruch nehmen, bei einer kurzen Einwirkung einer höheren Konzentration sich ebenso abspielen müßten. Man übersieht dabei aber, daß durch Einführung dieser höheren Konzentration eine weitere Komplikation geschaffen wird, indem die direkte Wirkung der Konzentration zur Geltung kommen und die anderen Prozesse überwiegen kann. Daß unter diesen Umständen gelegentlich eine Verfärbung der Nadeln eintreten kann, ergibt sich daraus,

daß Wislicenus sie an dem einen Exemplar in geringem Grade beobachtet hat, und daß ich sie in meinem Versuch auch wahrgenommen habe. An dem einen seiner Exemplare fielen die älteren Nadeln ab, aber es scheint mir nicht sicher erwiesen, daß hierin wirklich eine Säurewirkung vorliegt. Da es Wislicenus nicht gelungen ist, selbst bei einem zweimonatlichen Versuch, die besonders auffälligen Symptome der chronischen Rauchbeschädigung, die Verfärbung der Nadeln und ihren allmählichen, aber beschleunigten Fall herbeizuführen, so möchte ich annehmen, daß wir es bei der chronischen Rauchbeschädigung mit einer indirekten Säurewirkung zu tun haben. Hinsichtlich des Nadelfalles könnte man sich vielleicht folgende Vorstellung machen. Normalerweise trägt die Fichte 7 Nadeljahrgänge. Das Spiel der physiologischen Funktionen ist gleichsam so eingestellt, daß sich die Nadel nach 7 Jahren in ihrer Lebensfähigkeit erschöpft hat und dann abfällt. Wenn nun dies Spiel durch die Säure alteriert wird in einer uns allerdings bisher unbekannten Weise, so muß es eher ablaufen, und die Nadeln werden bereits nach 6, 5, 4 usw. Jahren verbraucht sein. Wo aber unter solchen Umständen der Angriffspunkt für die Säure liegt, ist von vornherein nicht zu sagen. Er könnte vielleicht gerade in den jüngsten Nadeln liegen und doch fallen die ältesten ab, weil der Baum mit einem geringeren Maß an Kräften haushalten muß. Sollte diese Auffassung zutreffen, so wird man nicht erwarten dürfen, den Nadelfall in einem Experiment von einigen Monaten Dauer hervorzurufen. Einwandfreie chronische Beschädigungen wären voraussichtlich nur zu erreichen, wenn man jahrelang dieselbe Pflanze ohne Unterbrechung mit sehr verdünnter Säure beräucherte.

Ein großes Interesse beanspruchen die verschiedenen Nachwirkungen, welche in meinen Versuchen zu beobachten waren. Am auffallendsten und neu ist das Auftreten des roten Farbstoffes bei der einen Varietät des Weinstocks. Wenn die ersten Anfänge seines Erscheinens bereits im Räucherhause bemerkbar werden, so ist doch die Hauptmasse des Farbstoffes erst nach Aufhören der Säurewirkung beobachtet worden. Da weder die im Freien verbliebenen noch ein im Räucherhause der Einwirkung von Salzsäure ausgesetztes Exemplar die Erscheinung zeigte, so liegt hier eine unzweifelhafte Wirkung der schwefligen Säure vor. In welcher Weise ihr Auftreten durch die Säure hervorgerufen wird, ist natürlich noch durchaus dunkel. Es tritt die Färbung auch nicht in allen Partien eines Blattes und in allen Blättern mit gleicher Intensität auf, was aus der Abbildung 3 auf S. 98 hervorgeht, wo die hellen Partien die gefärbten Partien veranschaulichen, die um so intensiver gefärbt sind, je heller sie in der Abbildung erscheinen. Außerdem wird beim Weinstock durch die Säure gleichsam der entgegengesetzte Prozeß eingeleitet, der dann nach Aufhören

der Säurewirkung fortschreitet, nämlich eine Verfärbung des grünen Farbstoffes. Und mit dieser Verfärbung steht es wohl unzweifelhaft im Zusammenhange, daß die Blätter solcher Exemplare eher abgeworfen werden als an den Kontrollexemplaren. Dasselbe gilt ja auch für Ahorn und Buche, in exquisiter Weise für Buche 2 aus dem Versuch im Jahre 1902.

Die Verfärbung der grünen Farbstoffe, welche unter Einwirkung der schwefligen Säure im Räucherhause auftritt, wird man zunächst geneigt sein, auf eine direkte Wirkung der Säure auf den Chlorophyllfarbstoff zurückzuführen, analog der Verfärbung einer Chlorophyllösung auf Zusatz von kleinen Mengen von schwefliger Säure. Diese Annahme wird aber durch die Tatsache erschüttert, daß die Verfärbung fortschreitet, wenn die Säurewirkung aufgehört hat. Man könnte nun daran denken, daß die während des Aufenthaltes im Räucherhause in den Blattorganen gespeicherte Säure weiter auf das Chlorophyll wirkte, wenn die Säure wieder in die Stoffwechselvorgänge der Zelle gezogen würde. Sehr wahrscheinlich ist das nicht, daß es sich so verhält, denn dann müßten auch die von Wislicenus nur in den Nachtstunden beräucherten Fichten, welche die gleiche Menge Säure wie die totgeräucherten Tagespflanzen aufgenommen hatten, die Verfärbung der Nadeln oder andere Symptome einer Säurewirkung zeigen. Wenn es sich nur um eine Zerstörung des Farbstoffes handelte, so müßten die Chloroplasten erhalten bleiben. Das ist aber nicht der Fall. Die Veränderungen, welche sich in den Blättern dieser beräucherten Pflanzen vollziehen, sind die gleichen, wie in den normal herbstlich sich verfärbenden Blättern. Wir haben es also gleichsam mit dem normalen Vorgang zu tun, nur daß er durch die Säure eher herbeigeführt wird. Hierdurch schließt sich das Verhalten unserer beräucherten Pflanzen anderen Erscheinungen mit demselben Ergebnis an. Es kann nämlich ein vorzeitiges Absterben und Abfallen der Blätter durch sehr verschiedene Ursachen herbeigeführt werden, z. B. durch unzureichende Beleuchtung, durch ungenügende Wasserversorgung, durch gehemmte und andererseits gesteigerte Transpiration, durch Schädigungen der Wurzel, durch stagnierende Bodennässe, durch Entziehung der Kohlensäure, überhaupt durch Verhinderung der normalen funktionellen Tätigkeit[1]). Zu den Faktoren, welche eine vorzeitige Verfärbung der Blätter bewirken, kann ich aus eigener Erfahrung noch mangelhafte Ernährung hinzufügen, wie sie Eichen, Buchen und Fichten — und dasselbe gilt unzweifelhaft von vielen anderen Bäumen — aufweisen, wenn sie mehrere Jahre in Töpfen, selbst wenn diese ziemlich groß sind, kultiviert werden. Eichen und Buchen, welche in den ersten Vegetationsperioden hinsichtlich der

[1]) Pfeffer, Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. Bd. II. S. 278.

Färbung nichts Abweichendes aufweisen, fangen später schon sehr zeitig an, sich herbstlich zu verfärben. So war 1904 bei einer größeren Zahl von Topfeichen und Topfbuchen bereits am 10. Juni die grüne Farbe erheblich abgeblaßt oder gar einem gelblichen Ton gewichen. Dementsprechend trat die volle Herbstverfärbung erheblich früher ein als bei den Freilandbuchen. Bei der Fichte färben sich an Topfkulturen die Nadeln auch gelblich, dieser Farbenton bleibt aber erhalten, da es sich um eine immergrüne Pflanze handelt. Bei allen genannten Baumarten ist die gelbe Farbe der Blattorgane wieder zum Verschwinden zu bringen, wenn man die Topfexemplare ins freie Land auspflanzt. Wenn sie anfangen, kräftig weiter zu wachsen, tritt an den neugebildeten Blattorganen die normale grüne Farbe auf. Die Laubhölzer reagieren im allgemeinen schneller als die Fichte. So blieben 1903 ausgepflanzte Buchen und Eichen während der ganzen Vegetationsperiode 1904 normal grün, während die Topfexemplare derselben Serie die oben geschilderte frühzeitige Verfärbung aufwiesen.

Die geschilderten Verfärbungen an Topfpflanzen kann man gelegentlich auch an Freilandpflanzen entweder in ganzen Gruppen oder Beständen oder an einzelnen Exemplaren beobachten. Meine Freilandeichen zeigten durchgehends einen gelben Farbenton, als sie etwa sieben bis acht Jahre lang auf armem Boden standen. Auch unter den gleichaltrigen Buchen waren einzelne heller gefärbt. Es handelt sich bei diesen Verfärbungen vermutlich um Ernährungsstörungen; welcher Nährstoff aber mangelt, müßte noch durch weitere Versuche festgestellt werden. Mangel an Eisen kann es wohl nicht sein, da sonst wohl zu Beginn der Vegetationsperiode bei unseren Laubhölzern keine normale grüne Färbung aufgetreten wäre. Auf solche Ernährungsstörungen sind auch die auf S. 205 beschriebenen Nervaturzeichnungen zurückzuführen, welche man nicht nur in Rauchschadengebieten sondern auch an anderen Orten beobachten kann, und welche wohl immer eine Verarmung des Bodens andeuten.

Das Auftreten gelber Farbentöne in den Blattorganen könnte man sich aus ungünstigen Bedingungen für die Bildung des Chlorophyllfarbstoffes erklären. Wenn aber ursprünglich normaler Farbstoff vorhanden ist, der im Laufe der Vegetationsperiode sich verfärbt, so kann diese Verfärbung sich nicht auf dieselbe Weise erklären wie das Auftreten des bei seinem Entstehen gelblichen Farbstoffes. Es muß in diesem Falle der ursprünglich grüne Farbstoff zerstört werden. Man könnte annehmen, daß Stoffe gebildet werden, welche das Chlorophyll oder wenigstens den grünen Teil desselben in dem Maße, wie sie entstehen, zerstören, was für einzelne Fälle eine ganz plausible Erklärung geben würde. Es könnten beispielsweise im Stoffwechsel Säuren entstehen — und daß Oxalsäure

in großen Mengen in den Blättern gebildet wird, beweist das reichliche Vorkommen von oxalsaurem Kalk in ihnen — welche im ungebundenen Zustand auf das Chlorophyll ebenso zerstörend einwirkten, wie die schweflige Säure auf eine Chlorophyllösung. Wenn nun aus irgend welchen Gründen die Pflanze Mangel an Kalk litte, so würde die Säure nicht gebunden werden und ihre verhängnisvolle Wirkung ausüben können. Daß tatsächlich derartiges vorkommen kann, ist vom Zuckerrohr her bekannt. Der Saft enthält reichlich Säure und wenig Zucker, wenn der Boden nicht genügend Kalk enthält[1]), und ist deshalb zur Zucker gewinnung ungeeignet. Wo die Verfärbung der Blätter auf schlechte Ernährung zurückgeht, wird man zunächst immer an Kalkmangel denken dürfen, ebenso bei stagnierender Bodennässe, wobei Humussäuren entstehen, welche den vorhandenen Kalk vollständig beschlagnahmen. Die Verfärbung der Blätter bei den mit schwefliger Säure beräucherten Pflanzen müßte sich dann so erklären, daß der vorhandene Kalk unzureichend ist, um die im Stoffwechsel erzeugte organische Säure und die aus der Luft eindringende Schwefelsäure und schweflige Säure zu binden; die Verfärbung wird Fortschritte machen, wenn bei dem Aufhören ihrer Wirkung der ursprüngliche disponible Kalk gebunden war. Gegen eine solche Auffassung spricht das Verhalten der Pflanzen gegen Salzsäure. Auch von ihr dürften wir eine Zerstörung des Chlorophylls erwarten, weil sie den Kalk binden würde; aber Verfärbungen wurden an den Pflanzen, welche ihrer Einwirkung unterworfen wurden, nicht beobachtet, traten auch nicht als Nachwirkungen auf.

Vielleicht hat eine andere Erklärungsweise mehr Berechtigung. Die Veränderung der grünen Färbung in mehreren der aufgeführten Fälle wird in neuerer Zeit aus dem Mißverhältnis zwischen Bildung und Zerstörung von Chlorophyll durch das Licht zu erklären versucht. Durch das Licht soll dauernd Chlorophyll zerstört werden; diese Zerstörung kommt uns aber unter normalen Verhältnissen nicht zum Bewußtsein, da ihr die Regeneration die Wage hält. Wenn die Zerstörung die Regeneration überwiegt, tritt eine Verfärbung des grünen Farbstoffes ein. Kohl[2]) hat diese Auffassung durch Beobachtungen und experimentelle Untersuchungen zu stützen gesucht, und meine eigenen Beobachtungen sprechen zugunsten derselben. An meinen Topfbuchen beobachtete ich 1904, daß solche Exemplare, welche im Schatten anderer Bäume standen, noch schön grün waren, während die der Sonne ausgesetzten bereits einen gelblichen Ton

---

[1]) Semler, Tropische Agrikultur. 2. Aufl. 3. Bd. S. 236.

[2]) Untersuchungen über das Carotin und seine physiologische Bedeutung in der Pflanze. Leipzig 1902.

angenommen hatten. Analoge Verschiedenheiten kann man an den Blättern eines und desselben Exemplares wahrnehmen. So beobachtete ich am 18. August 1904 an vielen Topfbuchen, daß die meisten Blätter hellgrün oder gelblich gefärbt waren, daß aber diejenigen Blätter, welche vor der direkten Einwirkung des Sonnenlichtes durch andere Blätter geschützt waren, noch viel grüner waren. Ähnliches kann man auch an Freilandexemplaren beobachten. Dem Sonnenlichte besonders exponierte Zweige sind heller gefärbt als die anderen. In allen diesen Fällen haben sich mit der Zeit die Bedingungen zur Bildung von Chlorophyll verschlechtert, während die Zerstörung unveränderlich fortschreiten konnte. Da man bisher die Bedingungen für die Bildung von Chlorophyll nicht genau kennt, läßt sich auch nicht sagen, warum sich in jedem einzelnen Falle die Bedingungen für die Erzeugung von Chlorophyll verschlechtert haben. Hier ist erst von weiteren Untersuchungen Aufklärung zu erwarten. Bis auf weiteres wird man berechtigt sein, allen diesen mit einer Verfärbung des Chlorophylls verbundenen Erscheinungen auch die Verfärbung durch schweflige Säure anzuschließen, indem die Säure die Bedingungen für die Bildung des Chlorophylls nicht nur vorübergehend, sondern dauernd, wie die Nachwirkung zeigt, verschlechtert.

Die Verminderung des Gehaltes an grünem Farbstoff ist bei den durch schweflige Säure verfärbten Blättern ziemlich bedeutend. Für die Buche 2 aus dem Versuch des Jahres 1902 habe ich annähernd die Verminderung des Gehaltes an Farbstoff bestimmt. Aus einer gleichen Anzahl von Blättern gleicher Größe von dieser Buche einerseits und einer normal grünen Topfbuche andererseits habe ich am 4. September einen Auszug mit gleichen Mengen einer alkoholischen Kalilauge[1]) hergestellt. Als Maßstab für den Gehalt an grünem Farbstoff diente die Absorption im Rot im Spektralapparat. Durch Verdünnen mit alkoholischer Kalilauge wurde die Absorption in der normal grünen Buche auf das Maß der Absorption bei der Buche 2 herabgedrückt. Nach dieser Methode ergab sich eine Verminderung des Farbstoffes um das Sechs- bis Siebenfache. Wenn die Assimilation proportional dem Gehalt an Chlorophyllgrün ist, müßte also am 4. September unsere Buche 2 nur ein Sechstel bis ein Siebtel von dem assimilieren gekonnt haben, was ein normal grünes Blatt zu assimilieren vermag.

Der verschieden starken Verfärbung unserer beiden Buchen 1 und 2 aus dem Versuch des Jahres 1902 entsprach eine verschieden starke Assimilation, wie die Prüfung mit der Sachs'schen Jodprobe ergab. Die Blätter beider Pflanzen hatten nicht sehr reichlich Stärke gebildet, aber die der Buche 1 immer noch reichlicher als die der Buche 2.

[1]) Molisch, Die Krystallisation und der Nachweis des Xanthophylls (Carotins) im Blatte. Ber. d. d. bot. Ges. Bd. XIV, 1896.

Die durch schweflige Säure verfärbten Topfbuchen lassen ebenso wie die durch andere Ursachen verfärbten Exemplare ihre Blätter eher als normale grüne Exemplare fallen. Ob die durch allmähliche Abnahme des Chlorophyllgehaltes verminderte Assimilation daran Schuld ist, oder ob vorzeitiger Blattfall und verminderte Assimilation nur verschiedene sichtbare Ausdrucksweisen ein und desselben schädlichen Vorganges in den Blättern ist, ist nach dem heutigen Standpunkt unserer Kenntnisse nicht zu entscheiden. Im kohlensäurefreien Raum gehen die Blätter unter Verfärbungserscheinungen schnell zugrunde. Vöchting[1]) folgert hieraus, daß das Leben der Blätter unmittelbar an die Assimilation gebunden ist, während Jost[2]) der Meinung Ausdruck gibt, daß unter diesen Umständen aus dem Chlorophyll für die Zellen sozusagen giftige Stoffe gebildet werden. Würde man sich die Vöchting'sche Erklärung zu eigen machen, so müßte man annehmen, daß die verminderte Assimilation in längerer Zeit dasselbe bewirken würde, wie die unterbleibende Assimilation in kurzen Zeiträumen, die Jost'sche Ansicht hingegen würde zu der Annahme zwingen, daß bei verminderter ebenso wie bei unterbleibender Assimilation giftige Stoffe im Licht, wenn auch in geringerem Maße als im kohlensäurefreien Raum, erzeugt werden. Wir werden wohl nicht auf Widerspruch stoßen, wenn wir behaupten, daß die hier in Betracht kommenden Verhältnisse sehr kompliziert und wir weit davon entfernt sind, Einsicht in dieselben zu besitzen.

Zu den Nachwirkungen, welche die im Räucherhause beräucherten Topfpflanzen aufweisen, gehören auch Beschädigungen, welche erst nach der Herausnahme aus dem Räucherhause bemerkbar werden. So lange die Buchen aus dem Versuch 1 des Jahres 1902 im Räucherhause weilten, waren die Blätter vollständig oder fast intakt; als sie dann wenige Tage im Freien zugebracht hatten, war ein großer Teil der Blattsubstanz zugrunde gegangen. Wie sich dieser Vorgang abgespielt hat, wurde nicht beobachtet, da man auf derartige Veränderungen nicht vorbereitet war. Es ist denkbar, daß die Zellen unter der Einwirkung der Säure so gelitten hatten, daß sie bei einem von außen kommenden geeigneten Anstoß abgestorben sind; veränderte Stoffwechselprozesse könnten am Ende eine Herabsetzung des osmotischen Druckes in den Zellen herbeigeführt haben. Bei der ruhigen und damit feuchten Luft des Hauses hielten sich solche Zellen, während sie bei der stärkeren Transpiration im Freien absterben mußten. So könnte man sich diese Nachwirkung erklären;

[1]) Über die Abhängigkeit des Laubblattes von seiner Assimilationstätigkeit. Bot. Ztg. 1891, Nr. 8 u. 9.

[2]) Über die Abhängigkeit des Laubblattes von seiner Assimilationstätigkeit. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XXVII. 1895.

eine andere Frage ist natürlich, ob wirklich Veranlassung zu einer solchen Erklärung vorhanden ist. Das muß dahingestellt bleiben. Die Höhe des osmotischen Druckes in den Blattzellen der Buche nach der plasmolytischen Methode zu prüfen, wie ich das versucht habe, war mit Rücksicht auf die Kleinheit der Zellen unausführbar.

Ich habe, wie mir scheint, mit vollem Recht die Verfärbung der Blätter und das nachträgliche Auftreten der Beschädigungen bei den beräucherten Topfbuchen auf eine Wirkung der Säure zurückgeführt, und ich sehe auch nicht ein, wie man die Erscheinungen befriedigend anders erklären will. Nichtsdestoweniger sind mir teils privatim, teils bei Besprechung der Veröffentlichung meiner Versuchsergebnisse allerlei Einwendungen dagegen gemacht worden, welche hier zurückzuweisen zweckmäßig sein dürfte. Vor allen Dingen muß ich den Gedanken widerlegen, als ob die an der Buche beobachteten Erscheinungen auf den Aufenthalt im Räucherhause als solchem zurückzuführen wären. Gegenüber dem Verhalten im Freien sind zwei Faktoren geändert, die Feuchtigkeits- und die Lichtverhältnisse. Die Luft ist im Räucherhause feuchter, schon der geringeren Bewegung wegen. Die Beleuchtung ist herabgesetzt, da das Licht das Glas passieren und das Räucherhaus mit Rücksicht auf die zu starke Erwärmung schattiert werden mußte; aber die Beleuchtung ist noch immer recht bedeutend im Hause und weit entfernt von Dunkelheit, wodurch eine Verfärbung bewirkt werden könnte. Hierzu kommt noch, daß die Verfärbung nur an einem Teil der Versuchsexemplare auftritt, und daß die Pflanzen teilweise Arten angehören, welche Schatten vorzüglich vertragen oder lieben, wie Fichte und Buche.

Durch den Aufenthalt in dem Hause mit der feuchten Luft soll die Pflanze gleichsam verzärtelt werden. Dieser etwas vage Gedanke geht auf die gärtnerischen Erfahrungen zurück, daß sich die Blätter der im Gewächshaus aufgezogenen Pflanzen, ins Freie oder in ein Zimmer mit trockener Luft gebracht, verfärben und abfallen. Ein solches Verhalten beruht bekanntlich darauf, daß die Blätter mit ihrer Wasserbilanz an eine bestimmte Luftfeuchtigkeit angepaßt sind. In feuchter Luft aufgezogen, gehen sie in trockener zugrunde. Der entgegengesetzte Fall ist weniger gefährlich, kann in extremen Fällen aber auch zum Blattfall führen. Schließt man Zweige von Ilex aquifolium und Prunus Laurocerasus, welche mit der Schnittfläche in Wasser tauchen, in einem dampfgesättigten Raum ein, so lassen beide die Blätter fallen, Ilex sehr schnell, Prunus etwas später. Beide Fälle treffen nun für unsere Versuchsanstellung nicht zu. Die Pflanzen sind im Freien kultiviert und erst ins Räucherhaus gebracht worden, als alle Blätter (Buche, Eiche, Fichte) oder ein großer Teil derselben (Ahorn, Weinstock, Birke) ausgewachsen waren. Auch war die Luft nicht vollkommen stagnierend und nur

ganz vorübergehend vollständig dampfgesättigt. Der Aufenthalt in dieser Atmosphäre hat den Pflanzen niemals geschadet. An den zahlreichen Exemplaren, welche im Laufe der Jahre das Räucherhaus passiert haben, wurden niemals beim nachträglichen Aufenthalt im Freien vertrocknete Blätter wahrgenommen, wenn sich nicht wie in dem erwähnten Falle mit der Buche eine Schädigung durch die Säure hinzugesellt hatte. Selbst junge Blätter, welche im Räucherhaus gewachsen waren oder sich überhaupt erst in ihm entwickelt hatten, ertrugen den Lokalwechsel ausgezeichnet. Damit glaube ich alle Bedenken, welche man gegen die Verwendung des Räucherhauses zu den ausgeführten Versuchen geltend machen kann, zerstreut zu haben.

Man hat nun geglaubt, die Verfärbungserscheinung der Blätter auch anders deuten zu können. Es sollte sich um zufällige Verfärbungen handeln, da sich namentlich die Buchen individuell sehr verschieden verhielten. Deshalb hätte ich auch jeden Versuch mindestens mit 10 Exemplaren ausführen sollen. Auch eine derartige Kritik läßt sich leicht entkräften. Worauf die Ansicht, daß bei der Buche so sehr große individuelle Differenzen vorkommen, gegründet ist, weiß ich nicht. Bekannt ist mir, daß im Walde die einzelnen Exemplare unabhängig von ihren Stellungsverhältnissen sehr ungleich früh austreiben, worin sich allerdings bedeutende individuelle Differenzen bemerkbar machen. Es ist mir aber fraglich, ob daraus auf ein analoges Verhalten bei anderen Funktionen geschlossen werden darf, und ob man die Verhältnisse der älteren Bäume auf die jüngeren, wie sie für die Topfkulturen zur Anwendung kamen, übertragen darf. Ich habe auch selbst individuelle Verschiedenheiten beobachtet, wie aus den vorhergehenden Abschnitten hervorgeht, und wie wir im folgenden Abschnitt bei der Ableitung der Assimilate noch kennen lernen werden, im großen und ganzen ist aber nach meinen Erfahrungen die Buche — und ich habe mehrere Jahre lang eine große Zahl Topfbuchen unter Augen gehabt — sehr gleichartig in ihrem Verhalten, so daß man schon aus einer geringeren Zahl von Exemplaren einwandfreie Schlüsse ziehen kann. Ich möchte aber ausdrücklich hervorheben, daß ich immer nur gleichaltrige Pflanzen miteinander verglichen habe; denn ein Jahr mehr oder weniger langen Aufenthaltes in einem Topfe muß sehr viel ausmachen, da der Boden relativ schnell durchwachsen und an Nährstoffen erschöpft wird.

Wenn ich also die Notwendigkeit, mindestens 10 Buchen zu einem Versuche zu verwenden, nicht anerkennen kann, so muß ich andererseits betonen, daß mit der Verwendung einer größeren Zahl von Exemplaren nichts gewonnen worden wäre, da das Verhältnis zwischen verfärbten und nicht verfärbten Exemplaren voraussichtlich dasselbe geblieben wäre, denn die Verfärbung hängt mit den im Räucherhause herrschenden Konzentra-

tionen und den in ihm vorhandenen Strömungen zusammenhängen. Obendrein fehlt, wie ich oben dargelegt habe, jeder Anhalt, daß unter den im Räucherhause herrschenden Vegetationsbedingungen eine Verfärbung von Blättern eintreten muß. Die Verwendung einer so großen Zahl von Exemplaren einer Art hätte aber den großen Nachteil gehabt, daß man zurzeit immer nur mit einer Pflanzenart hätte experimentieren können. Der angebliche Nachteil der geringeren Anzahl von Exemplaren wird wieder wett gemacht durch das gleichsinnige Verhalten mehrerer Pflanzenarten.

Das ungleiche Verhalten der Exemplare einer Pflanzenart aus einem Versuch erklärt sich daraus, daß Luftströmungen in dem Hause vorhanden sind, wodurch die Exemplare an den verschiedenen Standorten ungleich stark von der Säure betroffen werden. In dem Versuch 1 aus dem Jahre 1902 haben wir infolgedessen eine stark verfärbte (2), eine weniger verfärbte (1) und normal grüne Buchen. In jedem Versuch, wo sich die Exemplare einer und derselben Art ungleich verhalten, ist in erster Linie hierin und nicht in einem individuell ungleichen Verhalten der Grund zu suchen. Das ungleiche Verhalten derselben Pflanzenart in verschiedenen Versuchen ist natürlich durch die jeweils herrschende Konzentration der Säure in der Luft bedingt.

Nach alledem müssen die Verfärbungen der Blattorgane unter Einwirkung von schwefliger Säure als durch diese hervorgerufen betrachtet werden. Sie treten nicht in allen Versuchen, oder nicht gleich stark auf, sie sind umso ausgesprochener und intensiver, je höher die wirksame Säurekonzentration war. Unter solchen Verhältnissen können sich zur Verfärbung direkte Beschädigungen, und wie bei der einen Weinstockvarietät, auch das Auftreten eines Farbstoffes in lebenden Zellen gesellen. In diesem Falle dürfte wohl niemand daran zweifeln, daß auch die Verfärbung des Chlorophylls eine Säurewirkung ist. Das ungleiche Verhalten derselben Pflanzenart bei Anwendung verschiedener Konzentrationen und verschiedener Exemplare in demselben Versuch je nach ihrer Stellung im Hause, schließt die Blattverfärbung als zufällige individuelle Eigentümlichkeit aus. Da bei einer vierzehntägigen Beräucherung der Buche und des Weinstocks durch Salzsäure, welche so hoch konzentriert gewählt worden war, daß die Blätter beschädigt wurden, keine Verfärbung der Blätter auch als Nachwirkung nicht auftrat, so haben wir in der Verfärbung des Chlorophylls und in dem Auftreten des roten Farbstoffes bei der einen Weinstockvarietät eine spezifische Reaktion der schwefligen Säure.

Mit Ausnahme der Birke wurde Verfärbung der Blätter in mehr oder weniger ausgeprägtem Maße bei allen in die Untersuchung gezogenen Pflanzenarten, also bei der Fichte, der Bohne, der Eiche, dem Ahorn, dem Weinstock, ganz besonders aber an der Buche beobachtet. Allerdings

wurde auch das Hauptgewicht auf die Hervorrufung der Verfärbung an der Buche gelegt, da gerade sie ein lebhaftes praktisches Interesse beansprucht. In den Rauchschadengebieten, wo Buchen vorkommen, zeigt sich nämlich an diesen eine vorzeitige herbstliche Verfärbung und vorzeitiger Blattfall. Diese zuerst von Oster[1]) im Stolberger Rauchschadengebiet beobachtete und als chronischer Rauchschaden angesprochene Erscheinung, ist später auch für das Rauchschadengebiet bei Barmen von Baltz beschrieben worden und kommt auch bei Chemnitz vor. Im Probsteywalde tritt die Erscheinung im August ein, in besonders ungünstigen Jahren bereits Ende Juli. Über die Verfärbung im Barmer Rauchschadengebiet schreibt Baltz: »Wenn man im August, zu welcher Zeit der Wald unter normalen Verhältnissen noch in voller Frische dasteht, den Blick über die mit Eichen durchstellten Buchenbestände schweifen läßt, dann heben sich die Buchen durch die tiefe Bräunung ihrer Blattmassen scharf von den Eichenoasen ab und Anfang September fängt das Laub an zu fallen, so daß die Buchen schon kahl dastehen, wenn an anderen Orten an den Blattfall noch nicht gedacht wird«[2]). Im Chemnitzer Rauchschadengebiet[3]) beginnt die Verfärbung der Buche nach mündlicher Mitteilung des Herrn Oberförsters Schier Anfang September. Übereinstimmend färben sich also die Buchen bei Stolberg, Barmen und Chemnitz, wo das schädigende Agens ausschließlich oder vorwiegend schweflige Säure ist, vorzeitlich herbstlich. Es steht zu erwarten, daß in allen Rauchschadengebieten, wo die schweflige Säure in Betracht kommt, an den Buchen dieselbe Erscheinung zu beobachten ist. Es wäre sehr wünschenswert, daß darauf geachtet würde; denn das Ausbleiben der Erscheinung würde von dem allergrößten Interesse sein. Sie selbst muß man aber als eine chronische Rauchbeschädigung auffassen und damit wäre auch für Laubhölzer das Vorkommen chronischer Rauchbeschädigungen, die von Wislicenus[4]) geleugnet werden, festgestellt.

Aus meinen Versuchen geht nun hervor, daß durch Beräucherung der Buchenblätter mit schwefliger Säure eine vorzeitige Herbstverfärbung und ein vorzeitiger Fall derselben herbeigeführt werden kann. Damit ist eine Möglichkeit für die Erklärung der im Freien beobachteten Erscheinung gegeben. Es ist nur noch zu entscheiden, ob die Erscheinung im Freien ebenso zustande kommt, wie im Räucherhause;

---

[1]) Siehe Anhang.

[2]) Rauchschaden am Walde. Deutsche Forst-Zeitung, 15. Bd., 1900, S. 171.

[3]) Vergl. auch Schier, Die Kohlenrauchschäden im Chemnitzer Stadtwalde. Forstwissenschaftliches Zentralblatt, 15. Jahrg., 1893.

[4]) Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. Zeitschrift für angewandte Chemie, 1901, Heft 28.

eine Säurewirkung ist sie unter allen Umständen. Dasselbe gilt von der chronischen Verfärbung der Fichte. Daß eine solche direkt durch die Säure hervorgerufen werden kann, geht aus meinem einen Versuch und aus dem Verhalten des einen Exemplares in dem zweimonatlichen Versuch von Wislicenus[1]) hervor. Auf die Entstehung der chronischen Rauchbeschädigungen soll in einem späteren Kapitel näher eingegangen werden.

B. Die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Ableitung der Assimilate.

Untersuchungen über die Einwirkung der Salzsäure auf die Pflanzen hatten gezeigt, daß durch sie die Ableitung der Assimilate aus den Blättern verzögert wird[2]). Diese Beobachtungen wurden die Veranlassung, auch bei den Untersuchungen über die schweflige Säure diesem Punkte sein Augenmerk zuzuwenden. Dabei stellte sich heraus, daß gleichfalls unter ihrer Einwirkung eine Verzögerung der Ableitung statthat. Die Prüfung der Frage geschah mit Hilfe der Sachs'schen Jodprobe, indem an verschiedenen Terminen der Gehalt der Blätter an Stärke ermittelt wurde.

Im Jahre 1900 wurden im Räucherhause mit 2 Eichen und 2 Buchen 5 Versuche ausgeführt. Die schweflige Säure wurde Tag und Nacht entwickelt. Es wurde einen Tag lang belichtet und dann das Räucherhaus so lange verdunkelt, bis die Ableitung der Assimilate vollendet war, nachdem man sich davon überzeugt hatte, daß die Pflanzen ausgiebig assimiliert hatten.

Versuch 1. Belichtung am 19. Juni von 10 Uhr vorm. bis 6 Uhr nachm. Sämtliche Pflanzen haben fast normal assimiliert.

20. Juni morgens:	Keine Verminderung der Stärke.
20. „ abends:	Verringerung der Stärkemenge wahrnehmbar, aber es ist noch reichlich Stärke vorhanden, vorzüglich an der von der Sonne am meisten getroffenen Buche I.
21. „ morgens:	Die Eichen enthalten mehr Stärke als die Buchen. Buche I enthält mehr Stärke als Buche II und zwar ziemlich viel.
22. „ vorm. 8 Uhr:	Die Pflanzen sind alle stärkefrei.

Zur vollständigen Ableitung der Stärke sind also 60 Stunden erforderlich gewesen.

Versuch 2. Belichtung am 22. Juni von 8 Uhr vorm. bis 7 Uhr nachm. Stürmischer Tag mit mittelmäßiger Belichtung.

Eiche.	Buche.
I. Sehr viel Stärke (normal).	Ia. Ein Blatt im unteren Teil des Exemplars, dem Brenner zugekehrt: reichlich Stärke, fast normal.
II. „ „ „ „	

[1]) Tharander forstliches Jahrbuch, Bd. 48, S. 152.

[2]) A. Wieler u. R. Hartleb, Über Einwirkung der Salzsäure auf die Assimilation der Pflanzen. Ber. d. d. bot. Ges., XVIII, 1900, S. 352.

Buche.

Ib. Blatt im oberen Teil des Exemplars, vom Brenner abgewandt: reichlich Stärke, fast normal.
IIa. Blatt im unteren Teil des Baumes, dem Brenner zugekehrt,
IIb. Blatt im oberen Teil des Baumes, dem Brenner zugekehrt,
IIc. Blatt im oberen Teil des Baumes, vom Brenner abgewandt.
In allen drei Fällen reichlich Stärke vorhanden, fast normal.

Erst am 25. Juni 8 Uhr vorm. sind alle Pflanzen entstärkt. Es sind also 60 Stunden für die vollständige Ableitung der Stärke erforderlich gewesen.

Versuch 3. Belichtung am 25. Juni von 8 Uhr vorm. bis 7 Uhr nachm.

Eiche.

I. Sehr viel Stärke, normal.
II. „ „ „ „

27. Juni morgens.

I. Es mag vielleicht die Hälfte der Stärke abgeleitet sein.
II. Hat abgeleitet, enthält aber noch reichlich Stärke.

28. Juni morgens.

I. Völlig entstärkt.
II. Noch nicht ganz stärkefrei.

29. Juni morgens.

I. Stärkefrei.
II. „

Buche.

I. Viel Stärke vorhanden; die in der Nähe des Brenners befindlichen Blätter haben keinen normalen Stärkegehalt.
II. Hat weniger Stärke als I. Der Stärkegehalt kann etwa als $^1/_2$ normal bezeichnet werden. Die Blätter in der Nähe des Brenners enthalten weniger Stärke als die entfernteren.

27. Juni morgens.

Ia. (Dem Brenner zugewandt.) Fast nichts abgeleitet.
Ib. (Vom Brenner abgewandt.) Es ist etwa die Hälfte abgeleitet worden.
IIa. (Dem Brenner zugewandt.) Sehr wenig Stärke abgeleitet.
IIb. (Vom Brenner abgewandt.) Ein Teil der Stärke abgeleitet.

28. Juni morgens.

Ia. Noch ziemlich beträchtliche Stärkemengen vorhanden.
Ib. Fast stärkefrei.
IIa. Noch sehr viel Stärke vorhanden.
IIb. Ebenso.

29. Juni morgens.

Ia. Noch geringe Mengen Stärke vorhanden.
Ib. Stärkefrei.
IIa. Noch reichlich Stärke vorhanden.
IIb. Stärke noch vorhanden.

Die Buchen haben im Durchschnitt schlechter abgeleitet als die Eichen. 84 Stunden sind bei jenen noch nicht zur vollständigen Ableitung der Stärke ausreichend, während die Eichen innerhalb dieses Zeitraumes vollständig entstärkt sind, ja bei Eiche I ist das schon innerhalb 60 Stunden erreicht worden.

Versuch 4. Belichtung am 29. Juni von 9 Uhr vorm. bis 7 Uhr nachm.

Eiche.	Buche.
I. Sehr viel Stärke, normal.	I a. Viel Stärke, aber nicht normal.
II. „ „ „ „	I b. Sehr viel Stärke, normal.
	II a. Viel Stärke, nicht ganz normal.
	II b. Viel Stärke, fast normal.
30. Juni 7 Uhr nachm.	30. Juni 7 Uhr nachm.
I. Sehr wenig Stärke abgeleitet.	I a u. b. Wenig abgeleitet.
II. Fast gar keine Stärke abgeleitet.	II a u. b. Fast nichts abgeleitet.
3. Juli 6 Uhr vorm.	
I, II. Noch nicht völlig entstärkt.	I, II. Noch nicht völlig entstärkt.

83 Stunden sind weder für die Buchen noch für die Eichen ausreichend gewesen, um eine vollständige Entstärkung herbeizuführen.

Versuch 5. Belichtung am 3. Juli von 6 Uhr vorm. bis 6 Uhr nachm.

Eiche.	Buche.
I. Sehr viel Stärke, normal.	I. Reichliche Stärke, fast normal.
II. „ „ „ „	II. Sehr viel Stärke normal.
4. Juli morgens.	4. Juli morgens.
I u. II. Nur minimale Mengen Stärke abgeleitet.	I u. II. Nur minimale Mengen Stärke abgeleitet.
5. Juli morgens.	5. Juli morgens.
I u. II. Fast nichts abgeleitet.	I u. II. Fast nichts abgeleitet.
6. Juli morgens.	6. Juli morgens.
I u. II. Nur noch wenig Stärke vorhanden.	I u. II. Nur noch wenig Stärke vorhanden.
7. Juli morgens.	7. Juli morgens.
I u. II. Noch nicht stärkefrei.	I u. II. Noch nicht stärkefrei.

Wenn nun auch nach 60 Stunden bei der Eiche wie bei der Buche die Hauptmasse der Stärke abgeleitet ist, so ist doch selbst nach 87 Stunden noch nicht alle Stärke aus den Blättern verschwunden.

Wie aus diesen fünf Versuchen mit zwei Eichen und zwei Buchen hervorgeht, erfordert die Ableitung der Assimilate aus den Blättern mindestens 60 Stunden, aber in mehreren Fällen ist dieser Zeitraum noch nicht einmal ausreichend, sodaß selbst nach 84 Stunden noch nicht alle Stärke verschwunden ist. Die Ableitung ist also außerordentlich verzögert, wenn man berücksichtigt, daß normalerweise in der Nacht die Assimilate abgeleitet werden, welche am vorhergehenden Tage gebildet worden sind. Wenn das nun auch vielleicht nicht in aller Strenge zutreffen mag, da

die Geschwindigkeit der Ableitung durch die Witterungsverhältnisse beeinflußt werden muß, so darf erwartet werden, daß der Zeitraum nicht erheblich sein wird, welcher zwischen Aufhören der Assimilation und vollständiger Ableitung ihrer Produkte verstreicht. Die von mir beobachtete bedeutende Verzögerung in der Ableitung müssen wir, da sie so übereinstimmend alle vier Pflanzen gleichmäßig betrifft, als eine Wirkung der schwefligen Säure ansprechen. Unbedeutende Unterschiede kommen ja auch bei diesen vier Exemplaren vor, welche zum Teil auf die verschiedene Empfindlichkeit der Pflanzenart gegen schweflige Säure, zum Teil auf individuelle Verschiedenheiten, zum Teil aber auch auf den Umstand zurückzuführen sind, daß die Exemplare in verschiedenem Grade im Räucherhause von der Säure getroffen werden, was sich besonders an der Buche bemerkbar macht. Für die Annahme, daß die Verzögerung in der Ableitung der Assimilate auf die Wirkung der Säure zurückzuführen ist, dürfte auch die Tatsache sprechen, daß in den späteren Versuchen, also mit der zunehmenden Einwirkung der Säure, die Verzögerung wächst.

Immerhin schien es erwünscht, durch einen direkten Versuch zu bestätigen, daß unter normalen Verhältnissen die Ableitung in einem viel kürzeren Zeitraum erfolgt als in den oben mitgeteilten Versuchen. Traf das zu, so war der Beweis erbracht, daß die Säure die Veranlassung für die Verzögerung ist. Ein solcher Kontrollversuch wurde für die Buche am 19. Juli im Räucherhause angestellt. Am Abend wurden zwei Exemplare (III u. IV), welche im Freien unter normalen Verhältnissen assimiliert hatten, in das verdunkelte Räucherhaus gestellt. Nach 24 Stunden enthielten die Blätter der Buche III keine Stärke mehr, während in denen der Buche IV nur noch wenig Stärke vorhanden war. Wenn nun auch bei den Exemplaren die Stärke nicht in der einen Nacht abgeleitet worden ist — bei III ist es übrigens nicht ausgeschlossen — so sind die Blätter doch in sehr viel kürzerer Frist entstärkt worden als bei den Exemplaren in den Säureversuchen, und wenn die beiden Individuen sich etwas abweichend verhalten, so ist der Unterschied doch nicht bedeutend genug, um die Ergebnisse der Säureversuche aus individuellen Differenzen zu erklären. So wird man berechtigt sein, die starke Verzögerung in der Ableitung bei der Buche auf die Einwirkung der schwefligen Säure zurückzuführen. Es ist dann wohl auch gestattet, das Verhalten der Eiche auf dieselbe Ursache zurückzuführen, wenn für sie auch leider kein Kontrollversuch angestellt wurde.

Den schon mehrfach erwähnten Versuch Nr. 1 aus dem Jahre 1902, welcher vom 28. Mai bis 10. Juni dauerte (vergl. S. 210), habe ich zum Schluß dazu benutzt, um mich noch einmal über die Ableitungsverhältnisse der Assimilate zu unterrichten. Als Versuchspflanzen hatten zwei Buchen,

zwei Fichten, ein Ahorn und eine Birke gedient. Nachdem am 10. Juni mit der Entwicklung der schwefligen Säure aufgehört worden war, wurde das Räucherhaus verdunkelt und in bestimmten Zwischenräumen mittels der Sachs'schen Jodprobe die Verminderung des Stärkegehaltes geprüft. Leider konnten aus irgend welchen Gründen in dem Zeitraum zwischen dem 12. und 16. Juli keine Bestimmungen ausgeführt werden, und in diesen Zeitraum fällt der Termin, an welchem die Entleerung der Buchenblätter vollendet war. Am Abend des 10. Juni wurden von allen Exemplaren Blätter untersucht, um festzustellen, ob sie assimiliert hatten. Das war der Fall gewesen. Von nun an wurden zu jedem Termin von jeder Buche zwei Blatthäften, von dem Ahorn eine Blatthälfte, von der Birke ganze Blätter und von den Fichten je ein kleiner Zweig mit den Nadeln des betreffenden Jahres geprüft. Die Ergebnisse dieser Prüfung folgen auf S. 233 in tabellarischer Form. Die Temperaturen im Räucherhause bewegten sich während der Prüfungsdauer zwischen folgenden Extremen:

vom	10.—13.	Juli	Max. 22°	Min.	15°
„	13.—16.	„	„ 33,5°	„	8,5°
„	16.—17.	„	„ 27°	„	22,5°
„	17.—18.	„	„ 16,5°	„	8°.

Am auffallendsten ist die außerordentlich langsame Ableitung bei der Fichte, welche selbst nach $3^1/_2$ Wochen nicht in allen Nadeln vollendet ist. Allerdings verhalten sich die verschiedenen Zweige ungleich, aber selbst bei denjenigen, wo die Nadeln eher entstärkt sind, verstreichen doch 8 Tage, und dann ist die Entleerung noch nicht einmal in allen Nadeln des betreffenden Zweiges vollkommen. Schneller geschieht die Ableitung bei den Laubhölzern, geht aber doch sehr langsam vor sich. So enthalten die Blätter der Birke selbst nach 8 Tagen teilweise nicht unerhebliche Mengen Stärke und beim Ahorn war wenigstens noch in den Blattnerven an diesem Termin Stärke vorhanden. Wann eine wahrnehmbare Verminderung des Stärkevorrates beginnt, ist leider nicht zu sagen, weil zwischen dem 12. und 16. Juli keine Bestimmungen ausgeführt worden sind, in diesen Zeitraum aber der Beginn der Verminderung fallen muß. Am schnellsten haben die beiden Buchen abgeleitet. Am 16. Juli sind die Blätter beider Exemplare völlig stärkeleer, aber wahrscheinlich sind sie es schon viel eher gewesen. Buche II hatte weniger Stärke gebildet, da die Pflanze der Einwirkung der Säure in stärkerem Maße ausgesetzt gewesen ist als Buche I, und dementsprechend macht sich bei jener eine Verminderung des Stärkegehaltes zeitiger, bereits nach 36 Stunden, als bei Buche I bemerkbar; bei dieser hat die vollständige Entstärkung mindestens 48 Stunden, aber wahrscheinlich erheblich länger in Anspruch genommen.

Datum	Buche I	Buche II	Ahorn	Birke	Fichte
10. VII. abends	Reichlich Stärke.	Weniger Stärke als bei I.	Großer Stärkereichtum.	Sehr reich an Stärke.	Reich an Stärke.
11. VII. 10 Uhr vm.	Keine Veränderung.	Keine Veränderung.	Keine Verminderung.	Keine Verminderung.	Keine Verminderung.
11. VII. abends	„ „	„ „	„ „	„ „	„ „
12. VII. morgens	„ „	Stärkevorrat vermindert.	„ „	„ „	„ „
16. VII. 10 Uhr vm.	Völlig stärkeleer.	Völlig stärkeleer.	Stärke nur noch in den Blattnerven vorhanden.	Stärke vermindert, aber noch reichlich vorhanden. Blattzähne vollständig stärkefrei.	„ „
17. VII. vorm.	—	—	Unverändert.	Das eine untersuchte Blatt ist mit Ausnahme des Randes blaugefärbt, das andere ist ganz farblos.	Die Nadeln des einen Exemplares sind dunkelschwarz, die des andern sind zum Teil ungefärbt, zum Teil hellblau und dunkelblau.
22. VII. vorm.	—	—	—	—	Die Nadeln sind bei beiden Exemplaren ganz schwarz.
27. VII. morgens	—	—	—	—	Unverändert.
29. VII. morgens	—	—	—	—	Die Nadeln färben sich nur zum Teil noch schwarz.
4. VIII. morgens	—	—	—	—	Noch immer Stärke vorhanden, in dem Zweig von dem einen Exemplar mehr als in dem vom andern.

Man wird in allen diesen Fällen die langsame Ableitung in Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus dem Jahre 1900 mit der Buche und Eiche als eine Nachwirkung der Säure aufzufassen geneigt sein; denn die außerordentlich langsame Ableitung bei der Fichte, der Birke und dem Ahorn als eine normale Erscheinung zu betrachten, will nicht recht einleuchten. Der langsamen Ableitung muß auch eine Verlangsamung in der Assimilation entsprechen, was für die Ernährung des betreffenden Individuums nicht förderlich sein kann. Andererseits darf ja allerdings nicht außer acht gelassen werden, daß wir es mit Topfpflanzen zu tun haben, bei denen sich, entsprechend der geringeren vegetativen Entfaltung, vielleicht auch die Stoffwechselvorgänge langsamer vollziehen könnten. Daß es nicht der Fall zu sein braucht, wird durch den Kontrollversuch mit der Buche aus dem Jahre 1900 und durch viele andere Exemplare bewiesen, welche behufs Untersuchungen über die Assimilation unter Einwirkung von Salzsäure und schwefliger Säure entstärkt wurden. Immerhin schien es ratsam einen Kontrollversuuch auszuführen.

Am 16. Juli 6 Uhr abends wurden je ein Exemplar von Buche, Birke, Ahorn und Fichte in das Dunkelzimmer gebracht. Die Prüfung auf Stärke geschah in derselben Weise wie bei dem vorhergehenden Versuch. Von der Fichte wurde an jedem Termin ein kleiner Sproß mit Nadeln der laufenden Vegetationsperiode, von der Buche, der Birke und dem Ahorn wurden je zwei Blätter untersucht. Am Abend des 16. Juli waren die Nadeln reich an Stärke, ebenso die beiden Blatthälften von Buche und Birke. Die beiden Blatthälften von Ahorn waren ungleich reich an Stärke.

Am 17. morgens wurden die korrespondierenden Blatthälften untersucht. Bei Ahorn und Buche sind sie vollständig entstärkt, während bei der Birke noch Stärke vorhanden ist. Als am Abend dieses Tages zwei weitere Blatthälften untersucht wurden, waren sie vollständig stärkefrei. Weniger schnell ging die Entstärkung bei der Fichte vor sich. Am 18. Juli morgens war noch reichlich Stärke vorhanden; erst am Abend dieses Tages war sie aus den Spitzen verschwunden, bei einem Teil der Nadeln freilich auch aus den übrigen Teilen. Am 21. Juli abends war noch in einigen Nadeln etwas Stärke vorhanden, während 24 Stunden später alle Nadeln stärkefrei waren. Zur vollkommenen Entstärkung waren für die Fichte 5 Tage, für die Birke 24 und für Buche und Ahorn 12 Stunden erforderlich. Die während dieses Versuches herrschende Temperatur hat zwanzig oder zwanzig und einige Grade betragen.

Da befürchtet wurde, daß die schnelle Ableitung durch besonders günstige Temperaturverhältnisse bedingt sein konnte, wurde noch ein Versuch mit Topfpflanzen im Garten ausgeführt. Am 17. Juli abends wurde

je ein Exemplar von Ahorn, Buche und Birke mit Dunkelzylindern verdunkelt. Natürlich hatte man sich davon überzeugt, daß die Exemplare auch ausgiebig assimiliert hatten. Am folgenden Morgen um 10 Uhr wurde zum zweiten Mal geprüft. Bei der Buche war alle Stärke abgeleitet worden, beim Ahorn war nur eine geringe Menge vorhanden, während bei der Birke nichts abgeleitet war. Abends desselben Tages wurde die Birke abermals geprüft. Auch jetzt war noch keine Verminderung des Stärkegehaltes zu beobachten. Gleichzeitig wurden noch einmal zwei Blatthälften der Buche geprüft. Sie enthielten Spuren von Stärke. Am 19. Juli morgens wurden abermals zwei Blatthälften der Birke untersucht. Nun war eine kleine Abnahme des Stärkegehaltes zu verzeichnen. Die nächste Prüfung geschah 48 Stunden später. In der einen Blatthälfte trat mit Jod eine schwache Färbung auf, in der anderen war noch etwas mehr Stärke vorhanden, aber erheblich weniger als am 19. Juli. Als am 22. Juli morgens die korrespondierenden Blatthälften geprüft wurden, erwiesen sie sich als vollständig frei von Stärke. Die Temperaturverhältnisse, welche für den 18. Juli ermittelt wurden, wichen nicht sehr erheblich von denen des Dunkelzimmers ab. In der Nacht vom 17. bis zum 18. Juli betrug das Maximum 18°, das Minimum 13°, während des Tages 20° resp. 18° C. Zur Entstärkung der Buche und des Ahorns sind 12 Stunden ausreichend gewesen, während die Birke mehr als 84 Stunden dazu benötigte. In beiden Versuchen haben sich Buche und Ahorn gleich verhalten, während die Birke erhebliche individuelle Differenzen aufwies.

Vergleicht man diese Versuchsergebnisse mit den Ergebnissen der Räucherversuche, so wird man wohl berechtigt sein, die langsame Ableitung bei diesen auf die Einwirkung der Säure zurückzuführen. Denn wenn auch bei der Birke bedeutende individuelle Differenzen vorkommen, so hat die beräucherte Birke noch erheblich langsamer abgeleitet als die Birke aus dem Gartenversuch. Und ähnlich liegt es mit den Fichten. Auch sie brauchten in dem normalen Versuch fünf Tage zur Entstärkung der Nadeln, aber in dem Räucherversuch war sie erst nach $3^1/_2$ Wochen vollendet.

Im Anschluß an den Gartenversuch wurden auch etwa 10 jährige Freilandbuchen auf die Schnelligkeit der Ableitung untersucht. Am 31. Juli abends wurde an zwei verschiedenen Buchen (I u. II) je ein Zweig verdunkelt, indem ein schwarzer Zeugsack übergezogen und am unteren Ende festgebunden wurde. Bei Beginn des Versuches färbten sich alle Blätter mit Jod schwarz, als sicheres Zeichen, daß sie stark assimiliert hatten. Es waren zwei Blatthälften von dem verdunkelten Zweig der Buche I genommen worden. Am anderen Morgen um 10 Uhr wurden die korrespondierenden Blatthälften geprüft. Das eine Blatt hat während

der Nacht die Stärke vollständig abgeleitet; in dem anderen Blatt sind noch kleine Stärkemengen vorhanden. Von der Buche II war am 31. Juli abends je eine Blatthälfte von dem verdunkelten und einem nicht verdunkelten Zweige genommen worden. Am folgenden Morgen wurden die korrespondierenden Hälften untersucht. Die Blatthälfte von dem verdunkelten Zweig enthielt noch ziemlich viel Stärke, die von dem unverdunkelten aber erheblich mehr, wahrscheinlich infolge neuer Assimilationstätigkeit. Da die Blatthälfte von dem verdunkelten Zweig so schlecht abgeleitet hatte, wurde noch ein ganzes Blatt von demselben genommen. Es war vollständig frei von Stärke.

Aus diesem Versuch darf man wohl den Schluß ziehen, daß unter günstigen Wärmeverhältnissen durchschnittlich auch bei der Freilandbuche die Ableitung der Assimilate in einer Nacht erfolgt. Individuelle Differenzen, welche sich sogar auf die einzelnen Blätter eines Zweiges erstrecken, kommen vor.

Der Hauptsache nach dürfte bei den Laubhölzern unter günstigen Wärmeverhältnissen die Stärke in einer Nacht aus den Blättern verschwinden; denn nur unter diesen Umständen kann in einem Tage die größte Masse Assimilate gebildet werden, da die Gegenwart älterer die Erzeugung neuer hemmt[1]). Wo unter günstigen Wärmeverhältnissen ein wesentlich längerer Zeitraum zur Ableitung erforderlich ist, wird man annehmen dürfen, daß die betreffende Pflanze nicht ganz normal funktioniert. Da man äußerlich den Exemplaren nicht ansehen kann, ob sie gut oder schlecht ableiten, so ist dies Verhalten noch wenig beachtet worden und fehlt es durchaus an der Möglichkeit einer Erklärung; die Beobachtungen beweisen nur, daß in dem Pflanzenkörper Bedingungen gegeben sein können, welche die Ableitung verlangsamen, und daß bei den beräucherten Exemplaren durch die Einwirkung der Säure diese Bedingungen ausgelöst werden können. Daß aber auch unabhängig von einer Säurewirkung selbst bei günstigen Wärmeverhältnissen wenigstens bei Topfpflanzen die Ableitung der Assimilate stark verzögert sein kann, geht aus dem folgenden mit je drei Exemplaren von Buche und Ahorn angestellten Versuche hervor. Dieser Versuch wurde ursprünglich angestellt, um die Zahl der normalen Versuche zu vermehren, damit mir nicht der Vorwurf gemacht werden könnte, daß ich mit zu wenig Exemplaren experimentiert hätte.

Am 23. Juli 1902 6 Uhr abends wurden die Topfpflanzen in das Dunkelzimmer des Instituts gebracht, nachdem festgestellt worden war, daß sie gut assimiliert hatten. Bei der Buche wurden jedesmal zwei Blätter geprüft. Die Versuchsergebnisse führe ich in tabellarischer Form nachstehend auf.

[1]) Ewart, On assimilatory inhibition in plants. The Journ. of the Linnea Society Botany Vol. XXXI, 1896. S. 429.

Datum	Buche			Ahorn		
	I	II	III	I	II	III
23. VII. 6 Uhr nachmittags	Sehr reichlich Stärke.	Sehr reichlich Stärke bei Blatt 1, wenig Stärke bei Blatt 2.	Sehr reichl. Stärke.	Sehr reichl. Stärke.	Reichlich Stärke.	Sehr reichl. Stärke.
24. VII. 9 1/2 Uhr vorm.	Unverändert.	Blatt 1: starke Verminderung; Blatt 2: vermindert.	Unverändert.	Verminderung des Stärkegehaltes; gleiches Verhalten bei einem älteren u. jüngeren Blatt.	Geringe Verminderung.	Keine Verminderung.
24. VII. abds.	Unverändert.	Wenig Stärke.	Etwas vermindert bei Blatt 1, stark vermindert bei Blatt 2.	Blattränder frei von Stärke, in den übrigen Teilen wenig Stärke.	Erhebliche Verminderung.	Wenig Stärke.
24. VII. morgens	Erhebliche Verminderung.	Stärkefrei.	Geringer Stärkegehalt bei Blatt 1, sehr wenig Stärke bei Blatt 2.	Wenig Stärke vorhanden.	Wenig Stärke.	Wenig Stärke.
25. VII. abds.	Blatt 1: ziemlich viel Stärke, Blatt 2: wenig Stärke.	—	Blatt 1: reicher Gehalt an Stärke, Blatt 2: wenig Stärke.	Sehr wenig Stärke.	Nur einige Hauptnerven enthalten Stärke.	Schwacher Gehalt an Stärke.
26. VII. morgens	Blatt 1: etwa 1/3 des Gehalts vom vorhergehenden Abend vorhanden, Blatt 2: nur Spuren von Stärke vorhanden.	—	Wenig Stärke vorhanden bei Blatt 1, sehr wenig bei Blatt 2.	Stärkefrei.	Ebenso.	Wenig Stärke.
26. VII. abds.	Stärkefrei.	—	Blatt 1: sehr wenig Stärke vorhanden, Blatt 2: nur Spuren.	—	Im wesentlichen stärkefrei, nur in einigen Hauptnerven etwas Stärke.	Nur in einigen Nerven etwas Stärke.

Die Entstärkung ist ziemlich langsam vonstatten gegangen. Der Ahorn hat im wesentlichen schneller als die Buche abgeleitet. Nach 48 Stunden war in allen drei Exemplaren des Ahorns nur noch wenig Stärke vorhanden; nach 60 Stunden war I völlig entstärkt, während bei II und III selbst nach 72 Stunden noch geringe Mengen vorhanden waren. Die Hauptmenge ist aber bei allen drei Exemplaren in den ersten 24 Stunden abgeführt worden. Viel ungleichmäßiger haben sich die drei Buchen verhalten. Bei I war die Verminderung des Stärkegehaltes erst nach 36 Stunden eingetreten. II war an diesem Termin stärkefrei und war schon nach 24 Stunden erheblich entstärkt gewesen. Bei III war nach 24 Stunden der Stärkegehalt in dem einen Blatt erheblich vermindert, während er nach 48 Stunden in allen beiden Blättern gering war. Vollständig stärkefrei war II nach 36, I nach 72 Stunden, während III selbst nach diesem Termin noch geringe Mengen enthielt.

Unverkennbar sind diese sechs Exemplare durchschnittlich langsamer entstärkt worden als die Kontrollexemplare in den früheren Versuchen. Dadurch könnte man versucht werden, auch die langsame Entstärkung in den Säureversuchen nur als zufälliges individuelles Verhalten zu betrachten. Wenn nun auch diese Möglichkeit nicht ganz von der Hand zu weisen ist, so bin ich doch der Ansicht, daß die langsamere Entstärkung der beräucherten Pflanzen auf eine Säurewirkung zurückzuführen ist; denn während wir bei den Kontrollpflanzen bald eine langsame, bald eine schnelle Entstärkung beobachten, ist sie bei den beräucherten Exemplaren stets sehr verzögert, und in den fünf ersten mit zwei Eichen und zwei Buchen ausgeführten Versuchen nimmt die Verzögerung mit fortschreitender Zeit immer mehr zu, sodaß während im Anfange 60 Stunden später 84 bis 87 Stunden zur Entstärkung erforderlich sind.

Bei dem mit Buche, Ahorn, Birke und Fichte angestellten Versuch 6 wirkt störend, daß zwischen dem 12. und 16. Juli keine Beobachtungen über die Entstärkung ausgeführt worden sind, dennoch scheint mir unverkennbar zu sein, daß der Ahorn in diesem Versuch langsamer abgeleitet hat als in dem letzten am ungünstigsten ausgefallenen Kontrollversuch. Nach 36 Stunden war bei dem beräucherten Exemplar noch keine Veränderung im Stärkevorrat eingetreten und selbst nach 156 Stunden war immer noch etwas Stärke vorhanden. Weniger präzise ist das Verhalten der Buche im Versuch 6, das durch die ungleich schnelle Entstärkung der beiden Exemplare ungünstig beeinflußt wird. Immerhin ist die Ableitung der Stärke bei diesen Exemplaren noch langsamer erfolgt, als bei den Exemplaren des letzten Kontrollversuches. In dem Säureversuch zeigte I nach 36 Stunden noch keine Veränderung in dem Stärkegehalt, während bei II der Gehalt bereits vermindert war.

Dahingegen ist nach 36 Stunden in dem normalen Versuch bei I eine erhebliche Verminderung eingetreten, während II stärkefrei ist und III auch schon durchnittlich eine Verminderung erkennen läßt. Bei der richtigen Beurteilung des Resultates darf auch nicht außer acht bleiben, daß in dem beräucherten Exemplar II der Stärkevorrat erheblich geringer war als in den nichtberäucherten Exemplaren. Wenn nun auch der Einfluß der Säure auf die Entstärkung bei der Buche nicht so deutlich hervortritt, wie bei den anderen geprüften Baumarten, so glaube ich doch, daß die Versuchsergebnisse nur in diesem Sinne gedeutet werden können, namentlich, da die beräucherten Buchen sich immer gleichsinnig verhalten und es nicht wahrscheinlich ist, daß eine Baumart sich prinzipiell anders als die übrigen verhalten sollte. Will man den Schluß, daß die schweflige Säure verzögernd auf die Ableitung der Assimilate wirkt, für die Buche nicht gelten lassen, sondern in den beobachteten Erscheinungen nur ein zufälliges individuelles Verhalten erblicken, so wäre eine Entscheidung der Frage nicht durch eine Vermehrung der Versuche, sondern nur durch Aufhellung der Ursachen, welche ein derartiges individuell verschiedenes Verhalten bedingen, herbeizuführen.

Die Verlangsamung in der Entstärkung muß mit einer Verminderung in der Diastaseproduktion zusammenhängen, wodurch die Überführung in lösliche Kohlehydrate verzögert wird. Wenn wir nun auch nicht wissen, von welchen Faktoren die Bildung der Diastase in den Zellen des Assimilationsgewebes abhängt, so steht doch fest, daß unter normalen Verhältnissen der Diastasegehalt schwankt und hier ein durch den Bedarf an löslichen Kohlehydraten regulierbarer Prozeß vorliegt. Brown und Morris[1]) haben nachgewiesen, daß die Diastase in den assimilierenden Blättern in wechselnder Menge vorhanden ist. Am Tage, wenn das Blatt ausgiebig assimiliert, ist die Menge am geringsten, sie nimmt am Nachmittage zu, um während der Nachtzeit ein Maximum zu erreichen. Läßt man nun aber die Blätter erheblich länger als eine Nacht verdunkelt, so wächst die Menge noch beträchtlich. Bei der Auflösung stärkehaltiger Endosperme durch den Keimling konnten dieselben Autoren[2]) feststellen, daß eine gesteigerte Produktion von Diastase durch den Embryo eintritt, wenn er Mangel an löslichen Kohlehydraten leidet. Durch sinnreiche Experimente zeigte Hansteen[3]), daß die Diastaseproduktion in den

[1]) A contribution to the chemistry and physiology of foliage leaves. Journ. of the Chem. Society, Bd. 63, 1883, Transactions.

[2]) Researches on the germination of some of the Gramineae, l. c. Bd. 57, 1890. Transactions.

[3]) Über die Ursachen der Entleerung der Reservestoffe aus Samen. Flora 1894. Ergänzungsband.

Endospermen steigt oder fällt, je nachdem ob die löslichen Umwandlungsprodukte abgeleitet wurden oder liegen blieben.

Bei den Topfexemplaren, an denen unter normalen Verhältnissen eine bedeutende Verlangsamung der Entstärkung beobachtet wurde, hat vermutlich die Stärkeproduktion den jeweiligen Bedarf erheblich überschritten, sodaß zur Ableitung der Assimilate ein längerer Zeitraum als 12 Stunden erforderlich war, während für die Verlangsamung der Entstärkung an den beräucherten Exemplaren eine direkte Beeinflussung der Diastasebildung oder eine Hemmung in der Ableitung der löslichen Kohlehydrate, über deren Art man sich keine Vorstellung machen kann, angenommen werden müßte.

Über die Bildungsstätte der Diastase, durch welche die Stärke in den Chloroplasten gelöst wird, gehen die Ansichten auseinander. Während die einen sie in dem Cytoplasma suchen, findet Arthur Meyer[1]) sie in den Chloroplasten. Er führt zugunsten seiner Auffassung die Art an, in welcher die Stärke gelöst wird; sie läßt nicht gut das Entstehen der Diastase außerhalb der Chloroplasten zu. Seine Auffassung zwingt ihn dann zu der weiteren Annahme, daß ein scharfer Wechsel der Funktionen stattfinde. Während der Assimilation soll sich die Stärke, da die Diastase fehlt, in den Chloroplasten anhäufen, nach ihrer Beendigung durch die auftretende Diastase gelöst werden. Meyer stützt sich dabei auf die Ergebnisse der oben angeführten Untersuchungen von Brown und Morris. Daß dieser Funktionswechsel, wenn er in aller Strenge zutreffen sollte, nicht von dem bloßen Wechsel von Licht und Dunkelheit abhängen kann, geht aus der bekannten Tatsache hervor, daß auch im Lichte bei Ausschluß von Kohlensäure die Stärke gelöst wird. Gegen einen Funktionswechsel scheint mir zu sprechen, daß der Chloroplast jederzeit gleich einem physikalischen Apparat bereit ist, bei Beleuchtung zu assimilieren, wenn die von Boussingault, Ewart und mir angegebenen Umstände, welche eine Assimilation verhindern, ausgeschlossen sind. Die Pflanze kann bei sehr ungleicher Tagesdauer assimilieren und ist auch nachts bei künstlicher Beleuchtung dazu imstande[2]).

Bisher hat man in einer verlängerten Assimilation einen Vorteil für die Pflanze durch die vermehrte Stoffproduktion erblickt, sie wäre aber ein Nachteil, da durch die unterbleibende Ableitung eine Hemmung der Assimilation eintreten müßte. Auch bei künstlicher ununterbrochener Beleuchtung will man eine Förderung der Pflanzenentwicklung beobachtet haben. Weitere Untersuchungen werden entscheiden müssen, inwieweit

---

[1]) Untersuchungen über die Stärkekörner. Jena 1895. S. 171.

[2]) Siehe S. 136.

die Ansicht von Meyer zutrifft. Auch mir erscheint es, besonders auf Grund der Untersuchung von Brown und Morris über den Gehalt der Blätter an Diastase, unwahrscheinlich, daß die Ableitung von Assimilaten während der Assimilation ebenso ausgiebig statthat, wie nach Aufhören derselben.

VII. Beeinflussung des Längenwachstums durch die schweflige Säure.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß in den Rauchschadengebieten das Höhenwachstum der Stämme verlangsamt ist oder, wenn ein bestimmtes Alter erreicht ist, sogar ganz aufhört. Am deutlichsten tritt diese Beeinträchtigung des Höhenwachstums bei der Fichte und der Kiefer hervor, weil bei ihnen der jährliche Zuwachs verhältnismäßig leicht festzustellen ist. Nach den mündlichen Mitteilungen des Herrn Oberförsters Schier hören die Fichten in den beräucherten Waldungen bei Chemnitz zwischen dem 30. und 40. Jahre auf zu wachsen. Reuß[1]) hat eingehende Untersuchungen über das Wachstum der Fichte in dem von Tiele-Winckler'schen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz angestellt. Mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle bessert sich das Wachstum, während es in der Nähe schon zeitig ganz zum Stillstand kommt. Ähnliche Beeinflussungen lassen sich auch für die Kiefer feststellen. Unsere Abb. 8 S. 242 führt uns aus demselben Rauchschadengebiet einen Kiefernwald vor. Am Nordrande des Slupnaer Waldes bei Myslowitz befindet sich eine Ziegelei, der gegenüber in südlicher Richtung sich dieser Wald erstreckt. Der Bestand ist etwa 45 Jahre alt, für sein Alter, namentlich in der Nähe der Ziegelei, viel zu niedrig; mit wachsender Entfernung nimmt der Höhenwuchs des Bestandes allmählich zu, wie deutlich auf unserer Abbildung zu sehen ist. Der links liegende Waldrand ist der Ziegelei zugekehrt. Im Vordergrunde unserer Abbildung stehen einzelne Kiefern, von denen die Gruppe links ganz besonders deutlich den Habitus dieser Bäume erkennen läßt. Die Krone hat durch den gehemmten Höhenwuchs ein gedrücktes Aussehen angenommen; auch fängt die Spitze der Krone an abzusterben. Abweichungen von den normalen Verhältnissen machen sich bei diesen Kiefern außerdem noch bemerkbar wie bei rauchbeschädigten Fichten in dem Verhalten der Nadeln. Je nach dem Grade der Beschädigung sind von den normalen drei Nadeljahrgängen nur zwei oder sogar nur einer vorhanden; eine scharfe Abgrenzung findet natürlich nicht statt, sondern

[1]) Rauchbeschädigung in dem von Thiele-Winkler'schen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz. Goslar 1893.

an einem und demselben Baum sind sehr mannigfaltige Verhältnisse vorhanden. Bei starker Beschädigung enthält die Krone auch immer abgestorbene Zweige. Der Vollständigkeit halber muß noch erwähnt werden, daß es sich hier um Einwirkung schwefliger Säure handelt, wie der hohe Gehalt der Nadeln an solcher (siehe S. 14 Jagen 16) beweist.

Eine Beeinträchtigung ihres Höhenwuchses erfahren die Laubbäume auch, nur tritt dieselbe bei ihnen nicht so scharf hervor, auch hat man wohl nicht sein Augenmerk in dem Maße wie bei der Fichte und der Kiefer bisher auf sie gerichtet. Bei Besprechung der Verhältnisse des Esch-

Abb. 8. Kiefernbestand im Slupnaer Walde bei Myslowitz.

weilerer Waldes wird auf den Höhenwuchs der Eiche und der Birke hingewiesen werden. Von den Laubbäumen ist bekannt, daß, wenn der Gipfel anfängt licht zu werden, die Blätter ein kleineres Flächenwachstum als in tieferen Teilen des Baumes und als normal ist, aufweisen. Auch im Probsteywalde habe ich die Richtigkeit dieser Behauptung für die Eiche und Buche bestätigen können. Übrigens erfahren die Nadeln der Fichte und Kiefer unter den gleichen Umständen ebenfalls eine Beeinträchtigung ihres Zuwachses.

Wird man geneigt sein, die Beeinträchtigung des Höhenwuchses der Stämme und des Flächenwachstums der Blätter mit durch Einwirkung der

Säure hervorgerufenen Ernährungsstörungen in Zusammenhang zu bringen, so ist doch die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, daß die Säure direkt das Längenwachstum der Achsen und Blätter beeinflußt. Es schien mir deshalb notwendig zu sein, diese Frage experimentell zu prüfen, doch konnte man sich nicht verhehlen, daß diesem Vorhaben große Schwierigkeiten entgegenstanden. Wir sind nur imstande vergleichend den Zuwachs an jungen Pflanzen zu ermitteln, während es sich in den Rauchschadengebieten um ältere und alte Bäume handelt. Nun ist die Wahrscheinlichkeit wohl nicht sehr groß, daß sich die Pflanzen im höheren Alter anders gegen die Säure verhalten als im jugendlichen, aber es ist nicht ausgeschlossen, daß die Empfindlichkeit gegen die Säure mit zunehmendem Alter ab- oder zunimmt, und wir besitzen keine Möglichkeit, diese Eventualität zu entscheiden. Die Versuchsergebnisse könnten, wie sie auch ausfallen möchten, höchstens einen gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit für die Bäume in den Rauchschadengebieten geben.

Das Material, welches sich für solche Versuche eignet, ist ein sehr beschränktes, da die betreffenden Organe in kurzer Zeit verhältnismäßig bedeutend wachsen müssen, und da gleichzeitig zum Ausschluß der individuellen Differenzen eine größere Zahl von Exemplaren untersucht werden muß. Das Material war dadurch noch beschränkter, daß die Versuche im Winter ausgeführt werden mußten. Es kamen deshalb nur Keimpflanzen und Zwiebelgewächse in Betracht, jene dienten zur Ermittelung des Zuwachses der Achsen, diese zur Ermittelung des Zuwachses der Blätter.

Die Versuche mußten vergleichend ausgeführt werden, es mußte also die Versuchsanstellung so gewählt werden, daß gleichzeitig vergleichbare Pflanzen mit und ohne Säure wachsen konnten. Die zu prüfenden Pflanzen wurden unter zwei Glasglocken A und B gebracht, welche luftdicht auf Glasplatten aufgesetzt waren. Der Tubus der Glocken war mit einem dreifach durchbohrten Gummistopfen verschlossen. Durch die eine Durchbohrung führte ein Manometerrohr, das mit dem anderen Ende in Quecksilber tauchte. Durch die anderen Durchbohrungen führte ein Zuleitungs- und ein Ableitungsrohr. Letzteres reichte bis auf die Glasplatte oder mindestens bis auf die Pflanzen hinunter, während ersteres eben durch den Gummistopfen tauchte. Zwischen die beiden Glocken war der Entwicklungsapparat für die schweflige Säure eingeschaltet. Aus einem Literkolben tropfte mittels eines Hebers eine titrierte Lösung von schwefligsaurem Natrium in die in einer Woulf'schen Flasche enthaltene Schwefelsäure wie bei den Versuchen über die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Wasserbewegung. Mit dieser Woulf'schen Flasche standen beide Glocken in Verbindung, A direkt, B durch eine Schwefelsäure enthaltende Waschflasche. Hinter die Glocke B war eine Waschflasche mit einer Lösung

von kohlensaurem Natrium eingeschaltet, um die entweichende schweflige Säure zu absorbieren, damit sie nicht die Metallpumpe verdürbe. Zwischen dem Gasmesser und der Glocke A war gleichfalls eine Schwefelsäure haltende Waschflasche eingeschaltet. Wenn die Pumpe in Tätigkeit gesetzt wurde, strich die Luft durch den Gasmesser, wurde in der Waschflasche ihrer Feuchtigkeit beraubt, trat in die Glocke ein, passierte die Woulf'sche Flasche, belud sich hier mit schwefliger Säure, verlor in der darauffolgenden Waschflasche eventuell noch Feuchtigkeit und trat dann in die Glocke B, um diese durch das Ableitungsrohr und die Waschflasche zu verlassen. Ein Hahn gestattete den Apparat gegen die Pumpe abzusperren. In die Glocke A kamen die Pflanzen, welche ohne Säure wachsen sollten, sie sind mit N bezeichnet worden, in die Glocke B die mit Säure zu behandelnden Pflanzen. Sie wurden mit S bezeichnet. Um die Feuchtigkeit in beiden Glocken gleich zu machen, wurde zunächst einmal die Luft in den beiden vorgelegten Waschflaschen getrocknet. Die Pflanzen waren in kleine Töpfe mit Erde oder mit feuchten Sägespänen eingesetzt und standen auf einer mit Wasser gefüllten Schale. Die aus dieser und aus den Töpfen entweichende Feuchtigkeit verbreitete sich in den Glocken. Da ich nur ein Hygrometer besaß, konnte ich nur abwechselnd den Feuchtigkeitsgehalt der Glocken kontrollieren. Danach muß ich annehmen, daß derselbe in beiden annähernd gleich war. Die Berechnung des Säuregehaltes der Luft erfolgte in derselben Weise wie bei den Versuchen über die Wasserbewegung.

Nicht gleichgültig ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft durch die Glocken hindurchgesogen wird, da sich dadurch die relative Feuchtigkeit ändert, diese aber bekanntlich einen hohen Einfluß auf das Längenwachstum ausübt. In wie hohem Grade der Zuwachs von der Luftfeuchtigkeit abhängt, mag ein vergleichender Versuch mit je sechs Keimpflanzen von Helianthus annuus lehren. Der eine Topf wurde in die eine Glocke (B) gestellt, durch welche Luft durchgesogen wurde, der andere in die andere Glocke (A), in welcher kein Luftwechsel stattfand. Die Messungen fanden alle 24 Stunden statt und bezogen sich auf Zonen von 30 mm.

Glocke A	Glocke B.
13,2 mm	7,3 mm
17,9 „	7,25 „
10,4 „	4,0 „
3,2 „	1,8 „
44,7 mm	20,35 mm

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft durch die Glocke B gestrichen war, war bedeutend gewesen und mochte wohl 200 Liter in der Stunde betragen haben. In der abgeschlossenen Glocke ist der

Zuwachs doppelt so groß gewesen wie in der durchlüfteten. Die ersten Versuche (mit Helianthus) habe ich mit einer so großen Geschwindigkeit ausgeführt, später habe ich die Saugung außerordentlich verlangsamt, so daß nur 60 Liter in der Stunde durch die Glocke strichen. Die Verlangsamung des Wachstums durch die Feuchtigkeitsverhältnisse hatte für unsere Versuchsanstellung den Nachteil, daß der Zuwachs in kürzeren Zeiträumen, etwa 8—9 Stunden, so gering wurde, daß man nicht mit ausreichender Sicherheit die Unterschiede im Zuwachs bei den normalen und Säurepflanzen feststellen konnte. Anfänglich habe ich tagsüber die Säure einwirken lassen und am Abend den Zuwachs gemessen, dann wurden die Pflanzen für die Nacht in die Glocken zurückgebracht, aber ohne Saugung. Am anderen Morgen wurde der nächtliche Zuwachs gemessen. Alsdann wurden die Töpfe mit den Pflanzen ausgetauscht. Durch einen derartigen Wechsel mußte die Beeinflussung des Wachstums durch die Säure am deutlichsten hervortreten. Da aber der Zuwachs in den Tagesstunden sehr gering war, habe ich später nur alle 24 Stunden einmal und zwar morgens gemessen. Es wurde hierbei vorausgesetzt, daß in der Nacht die Pflanzen unter beiden Glocken gleich viel wachsen, so daß eine Zuwachsverminderung am Tage unter Einwirkung der Säure auch auf diese Weise festgestellt werden konnte. Es stellte sich bald heraus, daß eine Nachwirkung vorhanden war. Die tagsüber der Säure ausgesetzt gewesenen Pflanzen wuchsen in der Nacht weniger als die normalen Pflanzen. Für unsere Messung war das nur vorteilhaft, da der Unterschied größer und deutlicher wurde. Für die Versuchsanstellung selbst hatte das aber seine Nachteile. Alle 24 Stunden wurden die Töpfe ausgetauscht, weil so der Zuwachs zwischen den normalen und Säurepflanzen am deutlichsten hervortreten mußte. Nun gewann man den Eindruck, als wenn die Nachwirkung über die Nachtzeit anhielt. Der Zuwachs der ursprünglichen Säurepflanze fiel unter normalen Verhältnissen zu niedrig aus. Ich habe deshalb zum Schluß die Versuche so ausgeführt, daß der eine Topf immer in normaler Luft, der andere tagsüber immer der Säure ausgesetzt blieb.

Als Versuchsobjekte dienten die Keimstengel von Helianthus annuus, Vicia Faba und Phaseolus vulgaris und die Blätter von Allium Cepa, Allium ascalonicum und Narcissus poëticus, bei denen ich mich darauf beschränkt habe, die Längenzunahme zu ermitteln.

1. Helianthus annuus. Mit dieser Pflanze wurden die meisten Versuche ausgeführt, weil die Keimstengel sich durch das ausgiebige und längere Wachstum besonders dazu eignen. Doch bereitete es anfangs Schwierigkeiten, passendes Vergleichsmaterial zu erhalten. Da die Pflanzen gut eingewurzelt sein sollten, mußten die Samen von vorne herein in die Töpfe ausgelegt werden. Die Samen keimen aber ungleich, und so wachsen

auch die einzelnen Pflanzen ungleich, infolgedessen erhält man kein passendes Vergleichsmaterial. Ich habe nun diesen Übelstand dadurch beseitigt, daß ich immer eine große Zahl von Samen in die Töpfe auslegte; es entwickelte sich dann eine genügende Anzahl brauchbarer Pflanzen. Je nach ihrer Länge wurde die auf die Stengel abzutragende Zone verschieden lang gewählt, 2 oder 3 cm lang, für alle Stengel in einem Versuch natürlich von gleicher Länge. Bei den ersten Versuchen passierten 200, bei den späteren etwa 60 Liter Luft den Apparat in einer Stunde.

Bei den beiden ersten mit Helianthus ausgeführten Versuchen wurde der Zuwachs unmittelbar nach Aufhören der Säurewirkung ermittelt und dann getrennt davon der Zuwachs für die folgende Nacht festgestellt. In dem Versuch 1 Tab. 4 wurden vier und sechs Pflanzen miteinander verglichen. Letztere waren einen Tag lang der Säure in dem Verhältnis von 1 : 22000 ausgesetzt. Ihr Einfluß ist unverkennbar. Bei einigen Exemplaren ist gar kein Wachstum erfolgt; bei den übrigen ein unbedeutendes. Im Durchschnitt belief sich der Zuwachs der Säurepflanzen auf 0,5 mm, der der Kontrollpflanzen auf 1,9 mm. Man erkennt unschwer die Hemmung im Wachstum bei den Säurepflanzen. Noch deutlicher tritt sie hervor, wenn man den Zuwachs für die ersten 24 Stunden vergleicht: Zuwachs der Säurepflanzen 2 mm, der Kontrollpflanzen 6,7 mm. An den folgenden Tagen wurde das Wachstum ohne Säurewirkung weiter verfolgt. Die Nachwirkung nahm allmählich ab, wie die weiteren Messungen ergaben.

Im Versuch 2 Tab. 4 wurden je fünf Pflanzen miteinander verglichen. Die Säure wirkte an zwei Tagen abwechselnd auf die beiden Töpfe ein. Mit Sicherheit ist eine Beeinträchtigung des Zuwachses nicht festzustellen, namentlich wenn man den Zuwachs für je 24 Stunden in Vergleich stellt. 9,6 : 8,5 und 10,7 : 10. Vermutlich ist die Säure zu verdünnt gewesen; sie betrug am ersten Tage 1 : 33500, am zweiten Tage in der ersten Hälfte 1 : 53000, in der zweiten Hälfte 1 : 93000. Für die weiteren Versuche wurden wieder höhere Konzentrationen gewählt, damit ein sicheres Resultat erzielt wurde. Hierbei war es nicht zu vermeiden, daß gelegentlich auch Beschädigungen auftraten. Führten diese Beschädigungen zum Tode der Pflanzen, so wurden sie bei Beurteilung des Zuwachses außer Betracht gelassen.

In den Versuchen 3 und 4 fand ein zweimaliger Wechsel der Töpfe statt; die Säure wirkte drei Tage lang ein. Die Konzentrationen bewegten sich zwischen 1 : 9800 und 1 : 20400. Vergleicht man den Zuwachs der Pflanzen aus den beiden Töpfen während des gleichen Zeitraums miteinander, so ist der Zuwachs bei den Säurepflanzen immer geringer als bei den normalen Pflanzen.

Vers. 3.	15,7	**8,9**
	3,5	5,75
	6,1	**3,6**
Vers. 4.	13,5	**8,5**
	10,75	12,3
	9,9	**4,25**

Man wird daraus schließen dürfen, daß das Wachstum durch die Säure gehemmt wird. Nun müßte man ein regelmäßiges Heben und Senken im Zuwachs an derselben Partie Pflanzen in aufeinander folgenden Tagen, entsprechend der Einwirkung der Säure, beobachten. Das trifft aber nicht immer zu. Im Versuch 3 zeigen die normalen Pflanzen ein Sinken im Zuwachs bei Einwirkung der Säure, ein Ansteigen des Zuwachses unter normalen Verhältnissen, bei den Säurepflanzen nimmt der Zuwachs sukzessive ab. Im Versuch 4 liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Da mir hier eine Nachwirkung der Säure vorzuliegen schien, habe ich weitere Versuche ausgeführt, in denen der Wechsel der Töpfe unterblieb. Die eine Gruppe Pflanzen blieb während der ganzen Versuchsdauer in säurefreier Luft, die andere wurde täglich der Säure ausgesetzt. Vergleicht man die beiden so ausgeführten Versuche 5 und 6, so ergibt sich, daß unter Einwirkung der Säure der Zuwachs viel schneller abnimmt, als unter normalen Verhältnissen. Bei diesen ist der Zuwachs am zweiten und ersten Tage annähernd gleich, um alsdann entsprechend der Wachstumskurve allmählich abzunehmen. Bei den Säurepflanzen nimmt der Zuwachs, selbst wenn er am ersten Tage wie im Versuch 5 beträchtlicher ist als bei den normalen Pflanzen, sehr viel schneller ab, wie die folgenden Zahlen zeigen.

	N	S
Vers. 5.	7,3	11,7
	7,25	5,1
	4	1,4
Vers. 6.	10,75	10,1
	10,3	7,1
	7	3,2

Diese schnelle Abnahme des Zuwachses bei den Säurepflanzen ist also eine Wirkung der Säure, und es geht aus diesem Verhalten hervor, daß die Säure das Längenwachstum ungünstig beeinflußt.

Unsere Versuche, welche nach doppelter Methode ausgeführt wurden, lassen keinen anderen Schluß zu, als daß der Zuwachs der Stengel durch die schweflige Säure ungünstig beeinflußt wird. Eine erhebliche Hemmung des Längenwachstums erfolgt aber nur bei verhältnismäßig hohen Konzen-

trationen. In Versuch 6 sind die Säurepflanzen etwa um 30% weniger in die Länge gewachsen als die normalen. Bei Konzentrationen von 1 : 33500 bis 1 : 93000 ist mit Sicherheit eine Verminderung des Zuwachses nicht zu behaupten.

2. Phaseolus vulgaris. Bei dieser Pflanze wurde das Wachstum des Epikotyls geprüft. Sein Wachstum ist für einen mehrtägigen Versuch wenig ausgiebig; die Pflanze eignet sich deshalb schlecht als Versuchsobjekt. Ich habe nur wenige Versuche mit ihr ausgeführt.

Versuch 1 wurde in derselben Weise angestellt wie die letzten Versuche mit Helianthus. Zwei Tage wirkte die Säure auf die Säurepflanzen in der Konzentration 1 : 13000 und 1 : 15000 ein. Es wurden drei normale mit fünf Säurepflanzen verglichen. Die folgenden Zahlen geben den Durchschnitt aus dem Zuwachs der betreffenden Pflanzen.

Normale Pflanzen	12,6	7,25	1,7
Säurepflanzen	8,5	1,8	0,2.

Die Verminderung im Zuwachs betrug bei den Säurepflanzen ca. 50%, doch waren sie alle etwas beschädigt, was vielleicht das Wachstum ungünstig beeinflußt haben kann.

Im zweiten Versuch fand ein Wechsel der Töpfe alle 24 Stunden statt, doch konnten nur zwei Pflanzen miteinander verglichen werden. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft den Apparat passierte, schwankte zwischen 54 und 59 Litern in der Stunde, die Säurekonzentration betrug an den drei aufeinander folgenden Tagen 1 : 32000, 1 : 27400, 1 : 25700. Beschädigungen traten nicht auf, aber entsprechend der geringeren Konzentration der Säure in der Luft war auch die Zuwachsverminderung weniger ansehnlich.

	N	S
9./10. Januar	13	**5,5**
10./11. „	**6,5**	7
11./12. „	6,5	**4**

Am bedeutendsten ist die Zuwachsverminderung am ersten Tage, am zweiten ist sie auch vorhanden, tritt aber nicht so deutlich hervor.

3. Vicia Faba. Mit jungen Pflanzen wurde ein Versuch ausgeführt. Es wurden je zwei Exemplare miteinander verglichen, und zwar wurde das untere (1) und das mittlere (2) der drei vorhandenen Internodien gemessen. Ein Wechsel der Pflanzen fand nicht statt, sondern es war nur der eine Topf und zwar drei Tage lang der Säure ausgesetzt, welche in den Konzentrationen 1 : 13300, 1 : 17600, 1 : 13000 einwirkte. Die Geschwindigkeit der Luftbewegung schwankte zwischen 49 und 60 Litern in der Stunde.

	Datum	N-pflanzen				S-pflanzen		N-pflanzen				S-pflanzen	
		Internodium 1		Durchschnittl. Zuwachs		Internodium 1		Internodium 2		Durchschnittl. Zuwachs		Internodium 2	
		I	II	N	S	I	II	I	II	N	S	I	II
Länge	—	44,25	27,25	—	—	45	33,5	17,25	9,5	—	—	15,5	13
Zuwachs	6./7. XII.	6,75	8,75	7,75	2,5	3,5	1,5	9,75	6,5	8,12	4,25	4	4,5
„	7./8. XII.	2	6,5	4,25	0	0	0	9	10	9,5	3,75	4	3,1
„	8./9. XII.	0	1,0	0,5	0,75	1,5	0	8,5	6	7,25	1,75	2,5	1

Die Wachstumsverminderung beträgt bei dem ersten Internodium ca. 74 %, bei dem zweiten ca. 60 %.

4. Allium Cepa. Für diese Versuche waren Zwiebeln in einzelne Töpfe mit Erde gesetzt worden. Als sie angewurzelt waren und Blätter trieben, wurden sie benutzt. Es wurden stets zwei möglichst gleiche Zwiebeln miteinander verglichen. Von jeder Zwiebel wurden mehrere Blätter gemessen. In der Tabelle 5 ist für jede Zwiebel in der ersten Kolumne die Länge der Blätter angegeben, in den folgenden der jeweilige Zuwachs. Die eine Pflanze wird als normale (N), die andere als Säurepflanze (S) bezeichnet, gleichgültig, ob letztere allein oder abwechselnd mit der anderen der Säure ausgesetzt wurde. An jedem Termin wurde der Zuwachs der einzelnen Blätter einer Zwiebel addiert und daraus das Mittel genommen. Diese Mittel wurden mit den Mitteln der anderen Pflanzen verglichen.

Zunächst wurde ein Versuch (Nr 1, Tab. 5) so ausgeführt, daß nur die S-Pflanze der Säure und zwar am ersten, zweiten und vierten Tage ausgesetzt wurde. Am dritten Tage verblieb sie unter denselben Verhältnissen wie die N-Pflanze, um festzustellen, ob der Zuwachs der Blätter beider Pflanzen gleich wäre. Die Anfangskonzentrationen an den betreffenden Tagen betrugen 1 : 11700, 1 : 12000, 1 : 12400; die Luftgeschwindigkeit schwankte zwischen 39 und 52 Litern in der Stunde. Die Messungen des Zuwachses geschahen annähernd alle 24 Stunden; bei der N-Pflanze wurden 3, bei der S-Pflanze 6 Blätter gemessen. Nach dem vierten Tage wurden die Töpfe aus dem Apparat herausgenommen und unter Glocken in ein abgeschlossenes säurefreies Volumen gebracht und die Blätter noch dreimal mit 24stündigen Intervallen gemessen.

Der Zuwachs betrug für die aufeinander folgenden Termine bei

N	S
31 mm	17,7 mm
34 „	27 „
29 „	21,4 „

N	S
8,7 ccm	**6,6** ccm
23 „	13,7 „
25,2 „	20,2 „
20 „	17,5 „

Die fettgedruckten Zahlen bedeuten hier wie im folgenden immer den Zuwachs unter Einwirkung der Säure. Dies Versuchsergebnis läßt nicht in klarer Weise erkennen, ob die Säure einen Einfluß auf das Wachstum der Blätter gehabt hat. Der Wachstumsgang ist bei den Blättern beider Zwiebeln der gleiche, nur ist der Zuwachs bei den S-Blättern durchgehends etwas kleiner als bei den N-Blättern, doch kann das natürlich auch mit der Wachstumsperiode der Blätter zusammenhängen.

Schon am zweiten Tage haben die Blätter der S-Pflanze gelitten, ihre Spitzen sind durch die Säure getötet worden. Einen merklichen Einfluß hat das aber nicht auf ihr Wachstum, welches an der Basis vor sich geht, ausgeübt.

In den Versuchen 2 und 3 (Tab. 5) wurden die Töpfe ausgetauscht, sodaß abwechselnd N- und S-Pflanzen der Säure ausgesetzt wurden. Im Versuch 2 wurden vier N-Blätter und fünf S-Blätter miteinander verglichen. Die Säure wirkte in den Konzentrationen 1 : 15000, 1 : 9300, 1 : 17000 ein. Die Luftgeschwindigkeit betrug 41 bis 67 Liter in der Stunde.

Der durchschnittliche Zuwachs für die drei aufeinander folgenden Termine war

bei der N-Pflanze	18	**4,4**	19
bei der S-Pflanze	**12,7**	16,3	**29,7**.

Bei der N-Pflanze scheint eine Beeinflussung des Wachstums eingetreten zu sein, während sie für die S-Pflanze nicht mit gleicher Sicherheit behauptet werden kann.

Beim Versuch 3 wurde ebenso verfahren wie bei Versuch 2, nur mit dem Unterschiede, daß die Säure am ersten, zweiten und vierten Tage einwirkte, während am dritten Tage wie beim ersten Versuch die Säure ausgeschaltet wurde, um festzustellen, ob das Wachstum der Blätter bei den Pflanzen unter den gleichen Umständen gleich groß ist. An diesem Tage waren die Glocken abgenommen worden; infolge des Feiertags war die Temperatur etwas niedriger. Beide Umstände haben bewirkt, daß der Zuwachs während dieser Zeit geringer gewesen ist als an den vorhergehenden und nachfolgenden Tagen; aber in beiden Fällen war er gleich groß. Es wurden 7 N-Blätter mit 5 S-Blättern verglichen. Die Konzentrationen der angewandten Säure betrugen 1 : 15000, 1 : 11500, 1 : 9170. Der Versuch wurde am fünften Tage unverändert unter Ausschluß der

Säure fortgesetzt. Die Luftgeschwindigkeit schwankte zwischen 43 und 57 Litern in der Stunde.

Der durchschnittliche Zuwachs betrug an den aufeinander folgenden Terminen

bei der N-Pflanze . . .	24,1	**18,5**	11,4	16,5	19,5
bei der S-Pflanze . . .	**21,6**	23,6	11,7	**14,4**	21,5.

Unverkennbar zeigen diese Zahlen, daß keine nachteilige Beeinflussung des Wachstums eingetreten ist. Die Unterschiede zwischen den entsprechenden Werten der beiden Reihen sind sehr unbedeutend, und können, da auch am fünften Tage eine gleiche Differenz vorhanden ist, nicht mit Sicherheit auf die Wirkung der Säure zurückgeführt werden.

In beiden Versuchen ist die angewandte Konzentration hoch genug gewesen, denn an allen Blättern, welche der Säure ausgesetzt waren, sind die Spitzen beschädigt und getötet worden. Überblickt man die Ergebnisse der drei Versuche, so muß es als sehr unwahrscheinlich gelten, daß das Wachstum der Zwiebelblätter durch schweflige Säure beeinflußt wird.

5. Allium ascalonicum L. Mit dieser Pflanze ist ein einziger Versuch (Tab. 5) ausgeführt worden. Die beiden zu vergleichenden Pflanzen wurden abwechselnd der Säure ausgesetzt, deren Wirkung auf fünf Tage ausgedehnt wurde. Ihre Anfangskonzentration betrug 1 : 10000, 1 : 13000, 1 : 12000, 1 : 12000, 1 : 10000. Die Geschwindigkeit der Luftbewegung betrug 44 bis 60 Liter in der Stunde. Am 6. und 7. Tage wurde der Versuch ohne Säure fortgesetzt. Es wurden 8 N- und 9 S-Blätter miteinander verglichen. Der durchschnittliche Zuwachs betrug an den einzelnen Terminen für

N	S
10,5 mm	**5,1** mm
4,9 „	8 „
10,2 „	**12,6** „
15 „	16,2 „
17,1 „	**11,4** „
14,4 „	16 „
15 „	14,8 „

Auffallend ist, daß, wenn die Pflanze zuerst von der Säure getroffen wird, das Wachstum verlangsamt wird. Wenigstens scheint mir der geringe Zuwachs am ersten und zweiten Säuretage mit 5,1 resp. 4,9 nur diese Erklärung zuzulassen. Vielleicht steht es damit im Zusammenhang, daß die Spitzen der längeren Blätter durch die Säure getötet werden. Mit Sicherheit ist an den folgenden Tagen eine Einwirkung der Säure nicht festzustellen; vielleicht kann der Abfall von 16,2 auf 11,4 und das Ansteigen auf 16 bei der S-Pflanze als eine Einwirkung der Säure gedeutet

werden. Nun war es unvermeidlich, ungleich lange Blätter miteinander zu vergleichen, dadurch könnte möglicherweise die Verlangsamung im Zuwachs verdeckt werden, wenn man aber in der Tabelle die gleich langen Blätter der N- und S-Pflanze zusammenstellt, kommt auch kein präziseres Resultat zum Vorschein.

Nach diesen Befunden kann man es höchstens als wahrscheinlich bezeichnen, daß das Wachstum der Schalottenblätter durch die Säure beeinflußt wird. Da der Versuch mit hohen Konzentrationen ausgeführt wurde, so sind starke Verdünnungen jedenfalls wirkungslos.

6. Narcissus poëticus. Ein Versuch (Tab. 5) wurde mit dieser Pflanze ausgeführt. In jeden Topf wurden mehrere Zwiebeln ausgelegt, welche sich freilich sehr ungleichmäßig entwickelten. Es wurden 3 N-Blätter mit 3 S-Blättern verglichen, welche beim Beginn des Versuches von annähernd gleicher Länge waren.

Die Luftbewegung schwankte an dem Tage, an welchem die Säure einwirkte, in der folgenden Weise im Durchschnitt für den einzelnen Tag: 44, 59, 54, 52, 50, 61, 47; die Konzentration der einwirkenden Säure war an den entsprechenden Terminen 1 : 10000, 1 : 14000, 1 : 15000, 1 : 14000, 1 : 12000, 1 : 12700, 1 : 8700. Am dritten Versuchstage, einem Feiertage, war der Apparat abgestellt. Die Messungen geschahen wiederum in Zwischenräumen von 24 Stunden. Die Töpfe wurden täglich gewechselt, sodaß bald die eine, bald die andere Gruppe von Pflanzen der Säure ausgesetzt war.

Der durchschnittliche Zuwachs betrug an den aufeinander folgenden Terminen für die

N-Pflanzen	6,1	**7,3**	3,9	9,75	**9,6**	9,75	**7,8**	7,9
S-Pflanzen	**7,2**	8,75	5,25	**11,0**	11,6	**9,25**	15,5	**11,7**.

Ob man die Zahlen der einzelnen Reihen unter sich, oder die korrespondierenden Zahlen der beiden Reihen miteinander vergleicht, es bietet sich nicht der geringste Anhalt für die Annahme, daß das Längenwachstum der Narzissenblätter durch die schweflige Säure beeinflußt wird, obgleich die angewandten Konzentrationen recht hoch waren. Beschädigungen sind nur in sehr geringem Maße aufgetreten; ein nur wenige Millimeter großes Stück der Blätter von der Spitze aus ist beschädigt.

Die mit Keimpflanzen von Helianthus annuus, Phaseolus vulgaris, Vicia Faba und mit Blättern von Allium Cepa, Allium ascalonicum und Narcissus poëticus ausgeführten Versuche lassen eine Beinträchtigung des Längenwachstums der Stengel erkennen, während eine solche des Flächenwachstums der Blätter nicht mit Sicherheit festzustellen ist. Wenn es gestattet sein sollte, diese Ergebnisse auf die Bäume zu übertragen, so dürfte man eine direkte Beeinflussung des Höhenwuchses der Stämme durch

die schweflige Säure annehmen, während die Hemmung des Flächenwachstums der Blattorgane auf andere Ursachen zurückgeführt werden müßte. Nun haben unsere Versuche weiter ergeben, daß nur bei verhältnismäßig hohen Konzentrationen eine Beeinflussung des Wachstums bemerkbar wird, von Konzentrationen, welche in den Rauchschadengebieten nicht angenommen werden können. Bei den dort herrschenden Konzentrationen würden unsere Versuchsobjekte keine Hemmung des Wachstums zeigen. Will man nicht für die Bäume eine ganz besonders hohe Empfindlichkeit annehmen, so würde eine Hemmung ihres Höhenwuchses durch schweflige Säure in den Rauchschadengebieten ausgeschlossen sein. Denn in diesem Falle ist selbst nicht mit der Möglichkeit zu rechnen, daß die starke Verdünnung durch lange Einwirkung wieder ausgeglichen werden kann, da die Organe in kurzer Zeit ausgewachsen sind. Zur Erklärung der Wuchsverhältnisse der Bäume in den Rauchschadengebieten kann also die Beeinflussung des Längenwachstums durch die Säure nicht herangezogen werden.

Nun könnte man geltend machen, daß die an unserem Material gewonnenen Versuchsergebnisse nicht auf die Bäume übertragbar, daß diese gegen Säure viel empfindlicher seien als krautige Pflanzen, und daß man also bei ihnen eine Beeinflussung des Höhenwuchses noch bei Konzentrationen erwarten dürfte, auf die unsere Versuchspflanzen nicht mehr reagieren. Dann bliebe nichts anderes übrig als die Bäume in entsprechenden Versuchen auf ihr Längenwachstum zu prüfen; ich glaube aber, daß meine Versuchsergebnisse nicht gerade dazu ermuntern, derartige schwierige Versuche auszuführen. Auch erachte ich eine solche Untersuchung für überflüssig, weil sich die Hemmung des Höhenwuchses befriedigend auch auf andere Weise erklären läßt, wie wir in einem späteren Abschnitt sehen werden.

VIII. Die Wirkungsweise der schwefligen Säure in der Pflanzenzelle.

Es ist schon lange bekannt, daß selbst durch sehr verdünnte Säurelösungen die Zellen getötet werden und ihr Protoplasma fixiert wird. Welche Vorgänge sich aber hierbei abspielen, ist erst durch eine Untersuchung von Klemm[1]) festgestellt worden. Er hat unter dem Mikroskop geeignete Objekte untersucht und die Vorgänge in der Zelle, nachdem die Säure einzuwirken begonnen hatte, bis zum Eintritt des Todes genau verfolgt. Läßt man Salpetersäure in der Konzentratien von $^1/_2$ bis 1 $^0/_{00}$

[1]) Desorganisationserscheinungen der Zelle. — Pringsh. Jahrb. 1895. 28. S. 627.

auf die Wurzelhaare von Trianea bogotensis einwirken, so erleidet anfänglich die Plasmaströmung Veränderungen, dann treten Ausscheidungen verschiedener Art auf, gleichzeitig finden Formveränderungen statt, schließlich platzen die Zellen, sei es, daß der Turgor steigt, sei es, daß die Festigkeit der Membran herabgesetzt wird. In allen Fällen stirbt schließlich das Plasma ab. Analoge Wirkungen ruft die Säure auch in den Zellen anderer Pflanzen, z. B. in den Haaren von Momordica und Urtica, in den Blattzellen von Vallisneria spiralis und in den Epidermiszellen von Tradescantia discolor hervor. Schließlich ist das Protoplasma körnig geworden, und zwar wird seine Konfiguration fixiert, wenn eine stärkere Konzentration zur Anwendung kommt, während das Absterben bei nur schwacher Konzentration, wo der Tod langsamer eintritt, mit geringer Kontraktion verbunden ist. Bei Anwendung anderer Säuren in denselben Konzentrationen wie Schwefelsäure, Chromsäure, Phosphorsäure und Salzsäure zeigen die Zellen dieselben Absterbeerscheinungen, wie sie oben für die Salpetersäure geschildert wurden. Da sich die Zellen gegenüber den verschiedenen Säuren gleich verhalten, müssen die Absterbeerscheinungen durch den sauren Charakter der Säuren bedingt sein. Wir können deshalb auch voraussagen, daß die schweflige Säure, welche von Klemm nicht geprüft wurde, soweit lediglich ihr saurer Charakter in Frage steht, ebenso wirken muß wie Schwefelsäure oder Salzsäure. Durch ihren spezifischen Charakter muß sie aber noch Nebenwirkungen erzielen können.

Wie wir bereits in einem früheren Abschnitt gesehen haben, muß die schweflige Säure, welche aus den Essen und Kaminen in die Luft gelangt, in die Zellen teils als Schwefelsäure, teils als schweflige Säure gelangen. Im gleichen Sinne müssen zunächst beide Säuren auf das Protoplasma einwirken, wie es Klemm beschrieben hat. Wie diese Wirkung zustande kommt, ist bisher noch unbekannt. Ob es sich zunächst um eine Neutralisation der Säure handelt, wodurch andere Säuren entbunden werden, die vielleicht ihrerseits erst die ganze Erscheinung bewirken, oder ob es sich um eine direkte Wirkung der Säure auf das Plasma handelt, muß dahin gestellt bleiben. Im letzteren Falle müßten die Säuren außerdem noch durch ihr Neutralisationsbestreben wirken können. Die Schwefelsäure wird alle im Zellsaft und im Plasma gelösten Salze zersetzen, während die schweflige Säure nur die kohlensauren Salze zersetzen könnte. Dafür aber vermag sie — und darin besteht ihre Nebenwirkung — sich einer Reihe organischer Körper anzulagern. Auf solchen Anlagerungsprozeß ist es zurückzuführen, wenn die schweflige Säure, wie wir im ersten Abschnitt gesehen haben, in den Blattorganen beräucherter Pflanzen gespeichert wird. Da die Säure sich mit Vorliebe aldehydartigen Körpern anlagert, lag es nahe zu vermuten, daß vielleicht Aldehyde in den Zellen

die Speicherung bewirken möchten. Aus den Untersuchungen von Curtius und Reinke[1]) ist bekannt, daß die in den Blättern mancher Pflanzen auftretenden reduzierenden Substanzen Aldehyde sind. In allen von Curtius und Reinke und von Reinke und Braumüller[2]) daraufhin untersuchten Pflanzen waren Aldehyde nachzuweisen. Untersucht wurden Blätter von Ahorn, Eiche, Pappel, Silberpappel, Buche, Blutbuche, Ulme, Erle, Hainbuche, Robinie, echte Kastanie, Syringe, Johannisbeere, Liguster, Symphoricarpus, Cornus, Lonicera, Polygonum sacchalinense, Aegopodium Podagraria, Vinca minor und Keimlinge von Lupinus, Phaseolus, Impatiens, Helianthus und Coniferen. Aus dieser weiten Verbreitung darf man wohl schließen, daß Aldehyd in den Blättern ein allgemein verbreiteter Körper ist. Reinke ist sogar der Meinung, daß er im Assimilationsprozeß entsteht und weiter verarbeitet wird. Nach den noch beschränkten Untersuchungen von Curtius tritt nicht überall derselbe Aldehyd auf.

Nach den Befunden der genannten Forscher ist es höchst wahrscheinlich, daß in den Blättern aller der Pflanzen, welche von mir auf den Gehalt an schwefliger Säure untersucht wurden, auch Aldehyd vorhanden gewesen ist. Für einige wenige Fälle habe ich noch selbst Bestimmungen ausgeführt.

Nach dem Vorgange von Reinke und Braumüller wurde aus den zerkleinerten Blättern der Aldehyd mit Wasserdämpfen überdestilliert und dies Filtrat mit einer bestimmten Menge in Alkohol gelösten Metanitrobenzhydrazids versetzt. Ist Aldehyd zugegen, entsteht ein Niederschlag. Für jeden Versuch wurden 500 g Blätter benutzt.

1. Am 9. Mai 1903 Versuch mit Epheublättern. Es wurden 0,092 gr Niederschlag erhalten.
2. Am 15. Mai 1903. Junge Blätter von Acer Pseudo-Platanus. Es wurde nicht bis zur vollen Erschöpfung an Aldehyd destilliert. 0,131 gr Niederschlag.
3. Am 16. Mai 1903. Junge Buchenblätter. Auch hier wurde nicht bis zur vollen Erschöpfung an Aldehyd destilliert. 0,081 g Niederschlag.
4. Lindenblätter. 0,063 g Niederschlag.

Wenn man berücksichtigt, daß in dem Versuch 2 und 3 nicht alles Aldehyd, sondern nur der größere Teil bestimmt wurde, da es ja weniger darauf ankam, die Menge des Aldehyds zu ermitteln, als vielmehr seine

---

[1]) Die flüchtige reduzierende Substanz der grünen Pflanzenteile. Ber. d. d. bot. Ges. 15. 1897.

[2]) Untersuchungen über den Einfluß des Lichtes auf den Gehalt grüner Blätter an Aldehyd. l. c. 17. 1899.

Gegenwart festzustellen, so stimmen meine Ergebnisse gut mit denen Reinke's und Braumüller's überein.

Acer Pseudo-Platanus.

500 g Blätter (e. B.) 0,131 g N.
300 „ „ (n. R. u. B.) 0,109 „ „

Fagus silvatica.

500 g Blätter (e. B.) 0,081 „ „
300 „ „ (n. R. u. B.) 0,069 „ „

Diesen Niederschlägen entsprechen Aldehydmengen, welche imstande wären, noch größere Mengen schweflige Säure zu binden, als in den Blättern der betreffenden Pflanzen gefunden wurden. Selbstverständlich ist durch diese Bestimmungen nur die Möglichkeit dargetan, daß die Säure durch Aldehyd gebunden wird. Es kommen in den Blattzellen noch andere Substanzen vor, denen sich die Säure anlagern könnte, z. B. Zucker.

Von Roques[1]) und Rieter[1]) ist auf Grund der von ihnen im geschwefelten Wein ausgeführten Bestimmungen die Ansicht ausgesprochen worden, daß die schweflige Säure auch an Zucker gebunden sein könnte. Zu demselben Schluß wurde einige Jahre später Farnsteiner[2]) durch seine Untersuchungen von mit schwefliger Säure konservierten Zitronensäften und von geschwefelten getrockneten amerikanischen Früchten geführt. Bei einer Bestimmung der schwefligen Säure im Zitronensaft durch Titrieren mit Jodlösung wurden 25—50% weniger Säure als nach der Destillationsmethode gefunden. Wurde der Zitronensaft aber vor der Titration mit überschüssigem Alkali behandelt und dann wieder angesäuert, erhielt man in beiden Fällen die gleichen Werte. Ein ähnliches Resultat erhielt Farnsteiner, als er einen wässerigen Extrakt aus geschwefelten amerikanischen Früchten nach beiden Methoden untersuchte. Die Menge Säure, welche nach der direkten Titration mit Jodlösung nicht nachweisbar ist, muß also an organische Verbindungen gebunden sein, und zwar vermutet Farnsteiner, daß diese Verbindung Zucker ist.

Den direkten Nachweis, daß die Säure an Zucker gebunden werden kann, haben die genannten Forscher nicht geführt. Da es nun sehr wahrscheinlich ist, daß die schweflige Säure sich an den in den Zellen weitverbreiteten Zucker anlagern wird, wenn sie das vermag, schien es mir wünschenswert, zu prüfen, ob sich die schweflige Säure bei Berührung mit dem Zucker unmittelbar verbindet.

---

[1]) Roques, Schweiz. Woch. Chem. Pharm. 1897. 35 S. 595. Rieter ebend. 1898. 36 S. 41—44. Beide zitiert nach Zeitschrift für Unters. d. Nahrungs- und Genußmittel 1. Jahrg. 1898. S. 579.

[2]) Über organisch gebundene schweflige Säure in Nahrungsmitteln. L. c. 5. Jahrg. 1902. S. 1124.

Am 22. Januar 1903 wurde in 100 ccm Wasser schweflige Säure eingeleitet. Diese Lösung wurde in 2 gleiche Teile geteilt und der eine Teil mit 5 g Traubenzucker versetzt. Nach ca. 4 Stunden, als aller Zucker gelöst war, wurden beide Portionen mit Jod titriert. Für jede 10 ccm Lösung waren erforderlich:

	SO_2	SO_2 + Traubenzucker
22. 1. $4^h 30'$	76 ccm $^1/_{10}$ J.	60 ccm $^1/_{10}$ J.
23. 1. morgens	60 „ „	36 „ „
24. 1. „	28 „ „	13 „ „
26. 1. „	6 „ „	1 „ „
27. 1. „	2 „ „	0,4 „ „
28. 1. „	0,7 „ „	0,2 „ „
29. 1. „	0,1 „ „	0,1 „ „
30. 1. „	0 „ „	0 „ „

Aus diesen Bestimmungen geht also unzweifelhaft hervor, daß durch den Traubenzucker schweflige Säure gebunden wird. Da hier der Nachweis der Anlagerung der Säure an den Zucker nur indirekt geführt wurde, habe ich einen zweiten, etwas erweiterten Versuch angestellt, in dem schließlich die schweflige Säure aus der Zuckerverbindung durch Destillation erhalten wurde.

Schwefligsäurehaltiges Wasser wurde so auf drei Bechergläser und einen Kolben verteilt, daß auf jedes Gefäß 50 ccm entfielen. Dem Becherglas 2 wurden 10 g und dem Becherglas 3 5 g hinzugefügt. In den Kolben wurden gleichfalls 10 g Traubenzucker gebracht. Er wurde neben den Bechergläsern gewählt, um festzustellen, ob in ihm des engeren Halses wegen die Oxydation nicht langsamer erfolgte. Nach der Lösung des Zuckers befanden sich in Becherglas 1 50 ccm, in Becherglas 2 56, in Becherglas 3 53 ccm, im Kolben 56 ccm Flüssigkeit. Zu jeder Titration wurden 10 ccm benutzt.

	Becherglas 1 50 ccm; schwefl. Säure	Kolben 56 ccm; schwefl. Säure + 10 g Traubenzucker	Becherglas 2 56 ccm; schwefl. Säure + 10 g Traubenzucker	Becherglas 3 53 ccm; schwefl. Säure + 5 g Traubenzucker
26. 1.	29 ccm $^1/_{10}$ J.	25 ccm $^1/_{10}$ J.	21 ccm $^1/_{10}$ J.	26 ccm $^1/_{10}$ J.
27. 1.	23 „ „	14 „ „	7 „ „	16 „ „
28. 1.	15 „ „	7 „ „	1 „ „	5 „ „
29. 1.	9 „ „	3 „ „	0,1 „ „	0 „ „
30. 1.	4 „ „	0,9 „ „	0 „ „	

Das Verhalten der Flüssigkeit im Kolben, im Becherglas 2 und 3 bestätigt die Ergebnisse des ersten Versuches. Es ist stets weniger Jod-

lösung zum Titrieren erforderlich als im Becherglas 1. Je mehr Zucker im Wasser gelöst ist, um so weniger Jodlösung ist erforderlich, woraus hervorgeht, daß durch den Zucker um so mehr Säure gebunden wird, je mehr Zucker vorhanden ist. Die Vermutung, daß im Kolben infolge des langsameren Luftzutrittes die Oxydation langsamer als im Becherglase vor sich geht, hat sich durchaus bestätigt. Als im Becherglas 2 und 3 durch Titration keine Säure mehr nachzuweisen war, wurden die restierenden Flüssigkeitsmengen zusammengegossen und der Destillation mit Phosphorsäure unterworfen. Im Destillat entstand bei der Behandlung mit Salzsäure und Chlorbaryum ein starker Niederschlag von schwefelsaurem Baryum, dessen Menge allerdings nicht bestimmt wurde. Hiermit ist der direkte Beweis erbracht, daß die schweflige Säure sich mit Leichtigkeit dem Traubenzucker anlagert. Man darf also mit Sicherheit annehmen, daß sie sich beim Eindringen in die Zellen mit dem vorhandenen Zucker verbindet, falls nicht Stoffe zugegen sind, die sie noch gieriger absorbieren.

Inzwischen ist die Verbindung der schwefligen Säure mit der Glukose durch Einleiten des Gases in die Zuckerlösung von Kerp[1]) hergestellt und ihr Natriumsalz näher untersucht worden. Eingehende Untersuchungen im Reichsgesundheitsamt haben gezeigt, daß die schweflige Säure in zuckerhaltigen Nahrungsmitteln an den Zucker gebunden ist. Treten Aldehyde neben dem Zucker auf, so bildet sich ausschließlich oder vorwiegend aldehydschweflige Säure. In anderen Nahrungsmitteln soll die Säure sich Zellulose wie in den Schalen der Krachmandeln[2]) oder gar Eiweißstoffen anlagern können. Nach Versuchen, welche in der Zentralstelle für öffentliche Gesundheitspflege zu Dresden ausgeführt wurden, lagert sich schweflige Säure dem Hühnereiweiß an[2]). 100 g Eiweiß enthielten nach 9 Tagen 646 mg, nach 30 Tagen 637,5 mg schweflige Säure, welche an das Eiweiß gebunden sein mußten. Während die Verbindungen der schwefligen Säure mit Aldehyd und Glukose näher untersucht wurden, sind wir über die Eiweißverbindung noch mangelhaft unterrichtet. Natürlich wäre gerade ihre Kenntnis für die vorliegenden Zwecke von der allergrößten Bedeutung, da die in die Zelle eindringende schweflige Säure zunächst einmal das aus Eiweißstoffen bestehende Plasma passieren muß. Es wäre möglich, daß sich die Säure ganz oder teilweise diesem anlagerte, ehe sie bis zu den Aldehyden und Glukosen vordringen könnte. Die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Zellen würde aber vermutlich ver-

[1]) Zur Kenntnis der gebundenen schwefligen Säuren.

[2]) M. Schmidt, Über das Vorkommen der schwefligen Säure im Dörrobst und einigen anderen Lebensmitteln. S. 133.

Die schweflige Säure und ihre Verbindungen mit Aldehyden und Ketonen. Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte. Bd. XXI, Heft 2, 1904.

schieden ausfallen, ob die Säure sich den das Plasma aufbauenden Eiweißstoffen oder Assimilaten oder Stoffwechselprodukten wie Aldehyden und Zucker anlagert. Daß diese beiden Gruppen von Verbindungen aber doch wesentlich für die Speicherung der Säure in Betracht kommen, scheint uns durch den folgenden Versuch wahrscheinlich gemacht zu werden. Ist die Säure an sie gebunden, so muß man mit Wasser die Verbindung den Blattorganen entziehen können. 150 g zerkleinerte Fichtennadeln von der ersten Sendung aus dem Clausthaler Rauchschadengebiet, und zwar vom Standort 1, wurden am 24. August 1903 in einer Kohlensäureatmosphäre mit Wasser extrahiert und der Extrakt mit Phosphorsäure destilliert. In dem Destillat ließen sich 0,0018 g $BaSO_4$ bestimmen. Wenn man berücksichtigt, daß eine 8 Tage eher ausgeführte Bestimmung der schwefligen Säure in den Nadeln von derselben Sendung durch direkte Destillation 0,0012 g $BaSO_4$ lieferte, so könnte man geneigt sein anzunehmen, daß alle schweflige Säure in den Wasserauszug übergegangen wäre. Es wäre alsdann die Säure ausschließlich als eine wasserlösliche Verbindung in den Zellen vorhanden. Es schien mir nun verhältnismäßig leicht zu sein im Extrakt zu prüfen, ob die lösliche Verbindung glukoseschweflige Säure wäre. Bei der Ausführung dieser Prüfung stellte sich aber bald heraus, daß dieser Nachweis nicht so einfach, wie ich geglaubt hatte, zu führen war. Es wurde deshalb davon Abstand genommen, diese Frage weiter zu verfolgen.

Aus den tierphysiologischen Untersuchungen muß man folgern, daß, wenn die Verbindungen der schwefligen Säure mit Glukose oder Aldehyd wieder in den Stoffwechsel gezogen werden, die abgespaltene schweflige Säure schließlich zur Schwefelsäure oxydiert wird, wenigstens wurde die große Masse des Schwefels im Harne des Hundes[1]) als Schwefelsäure wiedergefunden, wenn er mit acetaldehydschwefligsaurem Natrium gefüttert wurde. Und ebenso verhält es sich auch mit dem glukoseschwefligsauren Natrium[2]). Alle diese organischen Verbindungen der schwefligen Säure wirken nur als Gifte, soweit bei der hydrolytischen Spaltung schweflige Säure frei wird, und die betreffenden Verbindungen sind um so giftiger, je leichter diese Zersetzung erfolgt[2]). Nach den tierphysiologischen Unter-

---

[1]) P. Hoffmann u. G. Sonntag, Beiträge zur Kenntnis der Ausscheidung von neutralem schwefligsaurem Natrium und aldehydschwefligsaurem Natrium beim Hunde.

[2]) Rost u. Franz, Vergleichende Untersuchung der pharmakologischen Wirkungen der organisch gebundenen schwefligen Säuren und des neutralen schwefligsauren Natriums.

Die schweflige Säure und ihre Verbindungen mit Aldehyden und Ketonen. Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte. Bd. XXI, Heft 2, 1904.

suchungen ist aus diesem Grunde das glukoseschwefligsaure Natrium viel giftiger als das neutrale schwefligsaure Natrium und dies wieder giftiger als das acetaldehydschwefligsaure Natrium. Unter den Endprodukten des Stoffwechsels erscheint die schweflige Säure als Schwefelsäure. Es wäre nun sehr wohl möglich, daß, da sich in den Blättern immer Aldehyde und Glukose finden, die Schwefelsäure, welche sich in den beräucherten Blättern nachweisen läßt, zum Teil erst auf dem Umwege der schwefligen Verbindungen des Aldehyds und der Glukose entsteht. Man könnte damit die Beobachtung in Verbindung bringen, daß der Gehalt an schwefliger Säure der zu verschiedenen Terminen untersuchten Blattorgane der Bäume von demselben Standorte ungleich, und zwar am zweiten Termin kleiner war. So enthielten die aus dem Barmer Rauchschadengebiet untersuchten Blätter durchgehends am zweiten Termin etwas weniger schweflige Säure als am ersten (s. S. 18), und das Gleiche wurde für die Linden aus Hamburg (s. S. 22) beobachtet. Es kann sich nun hier allerdings um einen Zufall handeln, da mit der Möglichkeit gerechnet werden kann und muß, daß die Blattorgane eines und desselben Baumes sehr ungleiche Mengen Säure speichern und ich erachte diese Bestimmungen deshalb auch nicht als beweisend, möchte aber doch auf diese Beobachtung hingewiesen haben.

Da die bisher betrachteten organischen Verbindungen der schwefligen Säure als Assimilate für den Stoffwechsel der Pflanze bestimmt sind, müssen sie auch weiter geleitet werden. Wir dürfen deshalb erwarten, diesen Verbindungen an anderen Orten im Pflanzenkörper wieder zu begegnen. Schon von v. Schroeder und Reuß wurde angenommen, daß die durch die Blattorgane aufgenommene Säure nach anderen Pflanzenteilen hinwandert; sie nahmen aber an, daß sie als Schwefelsäure wandert. Es ist nun wohl kaum wahrscheinlich, daß die Sulfate, welche sich selbst nach den Analysen der genannten Forscher in den jugendlichsten Teilen, wo sich ein lebhafter Stoffwechsel abspielt, am reichlichsten vorfinden, rückwärts wandern sollten. Viel wahrscheinlicher erscheint es mir, daß, wenn eine derartige Wanderung stattfindet, sie in Form der aldehyd- und glukoseschwefligen Säuren vor sich geht, und daß die Schwefelsäure erst entsteht, wenn diese Verbindungen im Stoffwechsel konsumiert werden. Im nachstehenden soll kurz auf die Versuche eingegangen werden, aus welchen v. Schroeder und Reuß[1]) auf eine Wanderung des aus der Luft durch die Blätter aufgenommenen Schwefels geschlossen haben.

---

[1]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Berlin 1883. S. 69.

100 Teile Trockensubstanz lieferten	Schwefelsäure		Steigerung der SO_3 von 100 auf
	normal g	Behandlung mit SO_2 g	
Nadeln der heurigen Tannentriebe . . .	0,1755	0,2355	134
Ältere Tannennadeln	0,2960	0,3395	114
Holz und Rinde der Tannenzweige . . .	0,0426	0,1075	252
Erlenblätter	0,1310	0,5574	426
Holz, Rinde und Blattstiele der Erlenzweige	0,0568	0,0841	148
Spitzahorn: Blätter	0,3279	0,7579	231
„ : Holz, Rinde, Blattstiele . . .	0,0628	0,1290	205
Eiche: Blätter	0,3390	0,8850	261
„ : Holz, Rinde, Blattstiele	0,0385	0,1415	368
Birke: Blätter	0,1751	0,7875	450
„ : Holz, Rinde, Blattstiele	0,0260	0,0853	328
Birnbaum: Blätter	0,3390	0,8266	244
„ : Holz, Rinde, Blattstiele . . .	0,0734	0,2436	322

Die Versuche waren in der Weise ausgeführt worden, daß die Zweige 36 resp. 24 Stunden in einer Atmosphäre zubrachten, welche $^1/_{1000}$ schweflige Säure enthielt. Obgleich sie nur verhältnismäßig kurze Zeit gedauert haben, so war doch die Zunahme an Säure in den Pflanzenteilen sehr erheblich. Besonders auffällig ist die bedeutende prozentische Zunahme in Holz, Rinde und Blattstielen, die zum Teil die der Blattorgane bedeutend überwiegt. Von v. Schroeder und Reuß wird die Zunahme an Säure in Holz, Rinde und Blattstielen als ein Beweis für die Wanderung des aus der Luft aufgenommenen Schwefels angesehen, indem sie voraussetzen, daß die Säure lediglich durch die Blätter aufgenommen wird. Sie haben übersehen, daß auch durch die Spaltöffnungen der Blattstiele und die Rindenporen der Achsen das saure Gas eindringen kann. Bei der kurzen Versuchsdauer erscheint es mir wahrscheinlicher, daß die Zunahme der Schwefelsäure an den Achsen auf diesem Wege als durch Wanderung erfolgt ist. Entsprechende Analysen über Material aus den Rauchschadengebieten, das längere Zeit mit geringen Konzentrationen beräuchert wurde, ohne daß der Tod der Pflanzenteile eintrat, liegen meines Wissens nicht vor. Endgültig zu entscheiden wäre die Frage nach der Wanderung der Schwefelsäure nur durch Versuche, in denen künstlich die Spaltöffnungen der Blattstiele und die Rindenporen verschlossen würden.

Fände keine direkte Aufnahme durch die Rindenporen hindurch statt, so müßte sich aus der Analyse entscheiden lassen, ob die Wanderung des Luftschwefels aus den Blättern in die Achsen in Form von Schwefelsäure oder Verbindungen der schwefligen Säure vor sich geht. Das mir

aus Rauchschadengebieten zur Verfügung stehende Material gab mir Veranlassung, in einzelnen Fällen auch die Achsen auf einen eventuellen Gehalt an schwefliger Säure zu untersuchen.

Am 24. April 1903 wurde von der ersten Sendung Fichtenzweige aus dem Clausthaler Rauchschadengebiet (Standort 1) Rinde destilliert. Von den größeren Zweigen wurde die Rinde losgelöst; an den ganz jungen Zweigen war es unmöglich, sodaß sie zusammen mit dem kleinen Holz- und Markkörper derselben verarbeitet werden mußte. Das ganze Material (50 g) wurde fein zerkleinert und auf schweflige Säure destilliert; es lieferte 0,0043 g $BaSO_4$.

Am 19. September 1903 wurde in derselben Weise von derselben Sendung eine zweite Bestimmung ausgeführt. Diesmal lieferten 150 g Rinde nur 0,0015 g $BaSO_4$.

Am 27. Oktober 1903 wurden 25 g Rinde von Fichtenzweigen, welche aus Jagen 1 (Forstrevier Brzenskowitz) im Rauchschadengebiet Kattowitz-Myslowitz stammten, untersucht. Bei einem Wassergehalt von 34,1 % lieferten diese 25 g 0,0012 g $BaSO_4$.

Am 21. September 1903 wurde die Rinde von den Buchenzweigen aus der großen Probstey, deren Blätter am 15. und 16. September destilliert worden waren, gleichfalls destilliert. 70 g lieferten bei einem Wassergehalt von 16,9 % 0,0011 g $BaSO_4$.

Die vier Bestimmungen ergaben also für 100 g der angewandten Substanz ohne Rücksicht auf ihren Wassergehalt:

Fichte	1	0,0086 g	$BaSO_4$
„	2	0,0010 g	„
„	3	0,0048 g	„
Buche		0,0016 g	„

Zum Teil lassen sich also verhältnismäßig erhebliche Mengen schweflige Säure in der Rinde nachweisen; es muß aber vor der Hand unentschieden bleiben, ob sie durch Wanderung oder durch direkte Aufnahme hierher gelangt ist.

Mit einer Wanderung des aus der Luft aufgenommenen Schwefels steht vermutlich der ungleiche Gehalt an Schwefelsäure in verschieden alten Blattorganen im Zusammenhang. Von vornherein ist nicht einzusehen, warum in einer Vegetationsperiode die älteren Nadeln der Fichte nicht ebensoviel schweflige Säure aus der Luft aufnehmen sollten wie die jüngeren. Bei 7 Nadeljahrgängen müßten die ältesten Nadeln siebenmal soviel Säure enthalten als die jüngsten, abgesehen natürlich von dem normalen Gehalt an Sulfat. Anatomische Momente, welche die

Säureaufnahme durch die jungen Nadeln begünstigen würden, sind nicht vorhanden; höchstens kann eine solche durch die Stellung der jüngsten Nadeln bedingt sein. In den Versuchen, welche v. Schroeder und Schmitz-Dumont[1]) anstellten, nahmen die jüngeren Nadeln durchgehends mehr Säure auf als die älteren. Während 21 Tagen wurden Fichten und Kiefern drei- bis zehnmal im Tage in Zwischenräumen von 1—3 Stunden mit einer Säurekonzentration 1 : 100000 beräuchert. Folgendes sind die Ergebnisse.

	Schwefelsäuregehalt.		
Fichte	krank	gesund	Differenz
diesjährige N.	0,948%	0,287%	0,661%
vierjährige N.	0,839 „	0,415 „	0,424 „
diesjährige N.	0,528 „	0,280 „	0,248 „
überjährige N.	0,512 „	0,272 „	0,240 „
Kiefer			
diesjährige N.	0,501 „	0,211 „	0,290 „
vorjährige N.	0,464 „	0,257 „	0,207 „
diesjährige N.	0,372 „	0,229 „	0,143 „
vorjährige N.	0,353 „	0,266 „	0,087 „

In allen Fällen ist die Zunahme des Säuregehaltes in den jüngsten Nadeln bedeutender als in den älteren. Am geringsten ist der Unterschied zwischen dem Gehalt der dies- und vorjährigen Nadeln bei der Fichte, wo die Differenz nahezu Null ist. Etwas beträchtlicher ist er bei der Kiefer; sehr bedeutend aber ist der Unterschied in der aufgenommenen Menge bei den diesjährigen und vierjährigen Nadeln der Fichte. Will man diese im Versuch beobachtete Begünstigung der jüngsten Nadeln nicht aus der ungünstigeren Stellung der älteren Nadeln zur Einwirkung der Luft erklären, so bleibt nur übrig sie mit der Ableitung der Säure in Verbindung zu setzen, da die Analysen der den Rauchschadengebieten entnommenen Nadeln das entgegengesetzte Ergebnis liefern.

Der Unterschied im Gehalt an Schwefelsäure nach dem Alter der Nadeln kann großen Schwankungen unterliegen. Aus 6 Bestimmungen, welche Reuß[2]) für alte und junge Nadeln einer und derselben Fichte ausführen ließ, erhielt er folgende Werte.

---

[1]) Thar. Forstl. Jahrbuch 1896. 46, 1. Zitiert nach Haselhoff und Lindau l. c. S. 53, 62.

[2]) Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Winckler'schen Forstrevier Myslowitz-Kattowitz, Nachtrag dazu Goslar 1896, S. 24.

Alte Nadeln	Junge Nadeln
0,23	0,09
0,20	0,10
0,17	0,13
0,16	0,10
0,08	0,08
0,13	0,09
0,97	0,59
0,16	0,10

Von welchem Alter die alten Nadeln waren, ist nicht angegeben. Die Proben waren am 16. Juli genommen worden. Der Gehalt dieser gesunden Nadeln an Schwefelsäure wies also nach dem Alter derselben ein Verhältnis von 16 : 10 auf. Haselhoff und Lindau[1]) haben gesunde Fichtennadeln aus einem Walde bei Braunlage im Harz analysiert.

Einjährige Nadeln	0,291 SO_3
Zweijährige „	0,226 „
Drei- und mehrjährige Nadeln . .	0,231 „

In diesem Fall enthielten die einjährigen Nadeln etwas mehr Säure als die zwei- bis mehrjährigen. Bei den gesunden in dem Versuch von v. Schroeder und Schmitz-Dumont benutzten Koniferen ist der Unterschied im Gehalt an Schwefelsäure in den ein- und zweijährigen Nadeln nicht bedeutend und fällt bald zugunsten der ein-, bald zugunsten der zweijährigen Nadeln aus. Ein erheblicher Unterschied ist nur zwischen den ein- und vierjährigen Nadeln vorhanden (0,287 : 0,415) und vermutlich hat auch Steffeck[2]) wirklich ältere Fichtennadeln mit einjährigen verglichen, da er zu ähnlichen Zahlen gelangt (0,264 : 0,417).

Analysen über kranke junge und alte Nadeln hat Reuß[3]) und vergleichende Untersuchungen über gesunde und kranke alte und junge Nadeln hat Steffeck[4]) veröffentlicht.

Das Material von Reuß stammt aus dem Revier Myslowitz-Kattowitz und wurde Ende Oktober gesammelt.

---

[1]) l. c. S. 167.

[2]) König, Steffeck, Heine, Der Schutz gegen Flurbeschädigungen durch gewerbliche Einrichtungen. Arbeiten der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft. Heft 14. Berlin 1896, S. 33.

[3]) Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Winckler'schen Forstrevier Myslowitz-Kattowitz. Goslar 1893, S. 23.

[4]) l. c.

Nr.	Schwefelsäuregehalt der alten Nadeln %	der jungen Nadeln %	der jungen Nadeln in Prozenten der alten
1	0,62	0,45	73
2	0,66	0,40	61
3	0,81	0,61	75
4	0,74	0,44	60
5	0,87	0,60	71
6	0,53	0,44	83
7	0,70	0,49	70
8	0,70	0,49	70
9	0,54	0,34	63
10	0,63	0,51	81
durchschnittlich	0,68	0,48	71

Leider ist nicht angegeben, ob die alten Nadeln vorjährige oder noch ältere Nadeln gewesen sind. Je älter aber die Nadeln sind, um so geringer müßte der Gehalt der jungen Nadeln sein. Wenn unter alten Nadeln vorjährige zu verstehen wären, dürfte der Gehalt der jungen Nadeln nur 50 und weniger Prozent desjenigen der alten betragen. Da er aber höher ist, muß man annehmen, daß aus den alten Nadeln Säure abgeleitet worden ist.

Steffeck untersuchte alte und junge Nadeln gesunder und kranker 6 bis 8jähriger Fichten. 100 Teile Trockensubstanz enthielten Schwefelsäure bei den kranken Fichten:

	Alte Nadeln	Junge Nadeln
Probe 1	1,292	0,613
„ 2	1,180	0,488
„ 3	0,849	0,589
„ 4	1,071	0,510
„ 5	1,005	0,540
„ 6	1,153	0,468
	6,550	3,208
durchschnittlich	1,091	0,535

Bringt man von diesen Zahlen den für die gesunden Nadeln ermittelten Gehalt an Schwefelsäure in Abzug, so hatten die alten Nadeln aus der Luft 0,674 und die jungen Nadeln 0,289% Schwefelsäure aufgenommen. Auch hier erscheint der Gehalt für die alten Nadeln nicht hoch genug.

Einen befriedigenden Einblick in die Bewegung des aus der Luft stammenden Schwefels im Pflanzenkörper gewähren diese Versuchsergebnisse auch nicht. Hier wären noch weitere Bestimmungen erforderlich.

Da nach den vorliegenden Untersuchungen angenommen werden darf, daß im allgemeinen die älteren Nadeln einen höheren Gehalt an Schwefelsäure aufweisen, so lag es nahe zu prüfen, ob derselbe von einem höheren Gehalt an schwefliger Säure oder von Schwefelsäure herrührt. Ich habe deshalb in einzelnen Fällen vergleichsweise in alten und jungen Nadeln den Gehalt an schwefliger Säure bestimmt.

Je 100 Teile Trockensubstanz der Fichten aus der zweiten Sendung vom Harz lieferten:

	Alte Nadeln	Junge Nadeln
Standort I	0,0032 g $BaSO_4$	0,0019 g $BaSO_4$
„ II	0,0050 g „	0,0050 g „
„ III	0,0044 g „	0,0079 g „

Je 150 g Nadeln von dem Material aus Barmen lieferten:

	Alte Nadeln	Junge Nadeln
Fichte	0,0028 g $BaSO_4$	0,0031 g $BaSO_4$
Weimutskiefer .	0,0021 g „	0,0040 g „
Schwarzkiefer .	0,0035 g „	0,0033 g „

Aus je 150 g Fichtennadeln von Bäumen der großen Probstey bei Stolberg i. Rh. wurden gewonnen für alte Nadeln 0,0015 g $BaSO_4$
„ junge „ 0,0014 g „

Unter alten Nadeln sind bei diesen Bestimmungen meistens zwei- und dreijährige zu verstehen. Mit Ausnahme eines Falles ist der Gehalt an schwefliger Säure entweder in den alten und jungen Nadeln gleich oder in den jungen Nadeln sogar noch etwas größer als in den alten Nadeln. Wenn ich nun nebenbei auch keine Bestimmungen der Schwefelsäure ausgeführt habe, so ist doch auf Grund der von Reuß und Steffeck mitgeteilten Analysenergebnisse anzunehmen, daß auch hier die Analyse mehr Schwefelsäure für die alten als für die jungen Nadeln ergeben haben würde. Mit großer Wahrscheinlichkeit muß man deshalb annehmen, daß ein Teil der aufgenommenen schwefligen Säure in den alten Nadeln in Schwefelsäure übergeführt worden ist. Und damit hat die Ansicht, daß die organischen schwefligen Säuren in den Zellen konsumiert werden, wobei die schweflige Säure zu Schwefelsäure oxydiert wird, eine wichtige Stütze erhalten. Systematische Untersuchungen mit richtiger Kombination der Schwefelsäurebestimmungen und der Bestimmungen der schwefligen Säure versprechen noch mehr Licht über dies

Verhalten zu verbreiten. Mit der Ansicht, daß schweflige Säure an organische Verbindungen gebunden ist und erst in Schwefelsäure übergeht, wenn sie wieder in den Stoffwechsel gezogen werden, harmoniert gut, daß am abgepflückten Material sich die schweflige Säure unverändert hält und noch nach Monaten nachweisbar ist, wie es beispielsweise für die erste Sendung aus dem Harz zutrifft.

Nach den im hygienischen Institut zu Hamburg und dem Reichsgesundheitsamt ausgeführten Untersuchungen hält sich die an Glukose gebundene schweflige Säure in dem Dörrobst unbegrenzt lange. In den Blattorganen mag ein Teil der schwefligen Säure vielleicht auch an andere Stoffe gebunden sein, da sie sich sowohl in abgefallenen unzersetzten Nadeln der Fichte als auch in den Humussubstanzen der Erde aus verschiedenen Rauchschadengebieten nachweisen ließ. Je 150 g der abgefallenen Fichtennadeln aus dem Clausthaler Rauchschadengebiet[1]) lieferten mir 0,0037 und 0,0023 g $BaSO_4$. Über den Gehalt der Humusstoffe der Erdböden aus Rauchschadengebieten an schwefliger Säure werden in einem späteren Kapitel noch einige Angaben gemacht werden.

Aus dem Konsum der Verbindungen der schwefligen Säure werden sich zum Teil auch die Nachwirkungen erklären, besonders diejenigen, welche erst sehr spät nach Aufhören der Säurewirkung bemerkbar werden. Nachwirkungen, welche sich in kürzerer Zeit fühlbar machen, können auf eine direkte Säurewirkung zurückgeführt werden, da ja jeder Prozeß eine gewisse Zeit zum Ablaufen in Anspruch nimmt und der von der Säure ausgehende Anstoß wahrscheinlich eine ganze Kette von Prozessen auslöst. Bei den erst sehr spät auftretenden Nachwirkungen wird man einen erneuerten Anstoß der schwefligen Säure erwarten dürfen, und dieser Anstoß kann nur von der Säure der sich zersetzenden Verbindungen ausgehen. Wenn wir auch keinen Einblick in den sich unter diesen Umständen im Protoplasma abspielenden Chemismus haben, so geht doch aus den Untersuchungen von Klemm hervor, daß die Säure, wenn sie nur in genügender Konzentration zur Anwendung gelangt, sehr bedeutende Veränderungen im Zellinnern hervorrufen kann, Veränderungen, welche mit dem Tode der Zelle enden können. So hohe Konzentrationen, wie Klemm anwandte, stehen nun weder in unseren Versuchen noch im Freien in Frage, aber wir wissen andererseits, daß schon sehr starke Verdünnungen der schwefligen Säure erhebliche Veränderungen in der Zelle auslösen können, treten doch die Injektionserscheinungen bei der Buche bei noch geringeren Konzentrationen als 1 : 500000 in der Luft auf. Die durch die Säure induzierten Umlagerungen im Plasma sind dann noch so bedeutend, daß die Zellen zum Bluten

[1]) Vergl. v. Schroeder und Reuß, l. c. S. 191.

veranlaßt werden, wenn sie auch nicht mehr ausreichen, um dauernde Veränderungen zu schaffen; nach einiger Zeit kehren die normalen Verhältnisse wieder. Mißlich bei allen Versuchen mit Landpflanzen ist der Umstand, daß man niemals weiß, welche Säurekonzentration im Innern der Zellen herrscht, da man nur imstande ist, den Säuregehalt der die Blätter umspielenden Luft zu regulieren. Eine für alle Pflanzenarten gültige Relation zwischen Säuregehalt der Luft und Aufnahme der Säure ins Zellinnere dürfte nicht bestehen. Vielleicht ist die Buche imstande, verhältnismäßig viel Säure aus einem geringen Gehalt in der Luft aufzunehmen, worauf ihre große Empfindlichkeit beruhen könnte. Leider gibt es kein sicheres und einfaches Mittel, die aufgenommene Menge Säure zu bestimmen. Unter allen Pflanzen, welche mir als Versuchsobjekte gedient haben, hat sich keine als so empfindlich erwiesen wie die Buche. Das tritt besonders durch die Nachwirkungen hervor, bei den Injektionen und dem Absterben von Blattsubstanz. Erst sehr lange Zeit nach dem Aufhören der Säurewirkung wurden in einzelnen Fällen, als sehr verdünnte Säure angewandt worden war, diese Erscheinungen beobachtet. Sie dürften wie analoge bei anderen Pflanzen durch die im Konsum frei werdende Säure der schwefligsauren Verbindungen bedingt sein. Nun ist es nicht wahrscheinlich, daß dabei eine hoch konzentrierte Säurelösung im Plasma entsteht, vielmehr wird man sich den Sachverhalt folgendermaßen vorzustellen haben. Durch den Konsum der schwefligsauren Verbindungen werden kleine Mengen Säure frei, welche auf das Plasma einwirken. Diese Wirkungen mögen an sich noch nicht nachteilig für dasselbe sein, aber indem sie sich in kurzen Zeiträumen wiederholen, können sie sich zu einem Effekt summieren, der sogar den Tod des Plasmas herbeizuführen vermag. Es wird auf die Größe dieser einzelnen Stöße und auf die Schnelligkeit, mit welcher sie aufeinander folgen, abhängen, ob das Plasma davon nachteilig beeinflußt wird. Eine wichtige Rolle spielt dabei natürlich auch die spezifische Empfindlichkeit des Plasmas, von der wir allerdings sehr wenig wissen. Die beständige Aufnahme von schwefliger Säure aus der Luft schließt durchaus noch nicht eine nachteilige Beeinflussung des Plasmas ein, wie daraus hervorgeht, daß z. B. Fichten im Aachener Stadtwald nachweisbare Mengen Säure aus der Luft aufnehmen können, ohne daß sichtbare Schäden hervorgetreten wären. Es wird also auf den Grad der Verdünnung in der Luft ankommen, welcher die Pflanzen ausgesetzt sind. Sind die einzelnen Stöße, welche direkt oder indirekt durch das Mittel der Stoffwechselprodukte das Plasma treffen, zu unbedeutend oder erfolgen sie in zu großen Intervallen, so wird eine Schädigung durch die Säure ausbleiben.

Die Bindung der schwefligen Säure an Assimilate und Stoffwechsel-

produkte ermöglicht auch eine Wanderung der schwefligen Säure im Pflanzenkörper, also nach Geweben hin, welche nicht unmittelbar das Gift aus der Luft aufnehmen können. Durch diese Wanderung würde gleichsam eine Verseuchung des ganzen Pflanzenkörpers herbeigeführt werden können. Trotz dieser Möglichkeit sind doch bisher noch keine Anzeichen bemerkbar geworden, daß etwa die in den Holzkörper und in die Rinde gewanderte schweflige Säure den Geweben nachteilig geworden wäre. Sie vermögen ebenso gut wie die Gewebe des Blattes ohne Schaden einen bestimmten Gehalt an Säure zu ertragen.

Das in einzelnen Fällen bei der Buche beobachtete Absterben von Blattpartien, nachdem die anfänglich unter der Einwirkung der schwefligen Säure herabgedrückte Assimilation wieder ihre normale Höhe erreicht hatte, läßt sich wohl nur aus einer Wanderung der mit der Säure verbundenen Assimilate aus den Chloroplasten in das Cytoplasma und aus ihrem hier erfolgenden Konsum erklären.

Irgend welche nachteilige Folgen für die Zelle hat die Wirkung der schwefligen Säure erst, wenn sie das Protoplasma trifft, gleichgültig, ob sie direkt aus der Luft aufgenommen oder aus ihren in den Chloroplasten und dem Cytoplasma entstandenen Verbindungen abgespalten wird. Ob sie alsdann als Schwefelsäure oder nebenbei auch als schweflige Säure wirkt, läßt sich vor der Hand nicht entscheiden. Als schweflige Säure muß sie zunächst ebenso wie andere Säure vermöge ihres sauren Charakters auf das Plasma einwirken. Daneben kann man aber auch an eine spezifische Wirkung der schwefligen Säure denken, doch wird man in diese Verhältnisse schwerlich eher einen befriedigenden Einblick gewinnen, ehe nicht der Aufbau der Eiweißkörper bekannt ist. Wenn sich die Ansicht von Loew[1]) bestätigen sollte, daß das das Plasma aufbauende Eiweiß Aldehydgruppen enthält, so könnte man sich wohl vorstellen, daß tiefgreifende Veränderungen im Plasma hervorgerufen werden, wenn die schweflige Säure sich diesen Aldehydgruppen anlagerte.

Für die besonders in die Augen springenden Erscheinungen: Herabdrückung der Assimilation, Hemmung der Ableitung der Assimilate, Auftreten der Injektionen und Tötung der Zellen wäre es nicht nötig, eine spezifische Wirkung der schwefligen Säure anzunehmen, denn diese Erscheinungen lassen sich auch als bloße Säurewirkung auf die Chloroplasten resp. auf das Cytoplasma erklären, da die Salzsäure die gleichen Erscheinungen hervorruft. Es muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben zu entscheiden, ob die schweflige Säure eine spezifische Wirkung

[1]) Loew u. Bokorny, Die chemische Kraftquelle im lebenden Protoplasma. München 1882.

auf Cytoplasma und Chloroplasten ausübt, oder ob die größere Schädlichkeit der schwefligen Säure gegenüber der Schwefelsäure lediglich auf die Speicherungsmöglichkeit für erstere in der Zelle zurückzuführen ist.

Da unter der Einwirkung der schwefligen Säure — für die Salzsäure gilt dasselbe — und als Nachwirkung derselben die Ableitung der Assimilate gehemmt wird, müssen wir eine Einwirkung der Säure auf die Diastase annehmen. Diese Wirkung könnte direkt oder indirekt sein, entweder in einer Hemmung der Fermenttätigkeit oder in einer Hemmung der Diastaseproduktion bestehen. Aus den Untersuchungen von Lintner[1]) ist bekannt, daß ein Zusatz von 0,002 % Schwefelsäure die Wirkung der Diastase etwas steigert, während ein Zusatz von 0,1 % sie vollständig sistiert. Freilich wissen wir nicht, in welcher Konzentration die Säure in den Zellen vorhanden ist, ob sie hoch genug ist, die Diastasewirkung herabzudrücken oder gar zu sistieren, oder ob nicht etwa unter den ganz anderen Verhältnissen in der Zelle gegenüber denen des Reagierglases schon sehr starke Verdünnungen nachteilig auf sie einwirken. Andererseits kann man auch mit der Beeinflussung der Diastaseproduktion durch die Säure rechnen. Da bestimmte an den Chloroplasten oder dem Cytoplasma haftende Funktionen direkt durch die Säure beeinflußt werden, darf auch eine Beeinflussung der Diastaseproduktion erwartet werden, die von dem Verhalten der Chloroplasten oder des Cytoplasmas abhängen muß, je nachdem wo ihre Bildungstätte ist. Brown und Morris haben gezeigt, daß der Gehalt der Blätter an Diastase nicht konstant ist, sondern in den Nachmittag- und Nachtstunden zunimmt. Die Hemmung, welche die Diastaseproduktion normalerweise am Tage erfährt, würde also auch unter der Einwirkung von Säure nachts eintreten können. Weitere Untersuchungen müssen entscheiden, auf welche dieser beiden Möglichkeiten die Verzögerung in der Ableitung der Assimilate zurückzuführen ist.

Ebenso darf von weiteren Untersuchungen Aufschluß erwartet werden, ob die Hemmung des Längenwachstums auf einer direkten Einwirkung des Plasmas der sich streckenden Zellen, oder auf einer indirekten Wirkung der Säure beruht, indem infolge der Beeinflussung der Diastaseproduktion oder -tätigkeit durch die Säure der Zustrom plastischen Materials zu den wachsenden Zellen verlangsamt wird.

IX. Die Beschädigung der Baumvegetation in Rauchschadengebieten.

Aus der Art, wie die schweflige Säure auf die Blätter und ihre Funktionen wirkt, müßten sich die in einem unter Einfluß von schwefliger Säure stehenden Rauchschadengebiet zu beobachtenden Erschei-

[1]) Zitiert nach A. Meyer, Untersuchungen üb. d. Stärkekörner. Jena 1895. S. 67.

nungen erklären lassen. Vergegenwärtigen wir uns die Schäden, welche man dort wahrnimmt, und verfolgen wir, wie dieselben zustande kommen; ich beschränke mich dabei auf die Waldungen, da die Resultate leicht auf andere Formationen zu übertragen sein würden. Schon mehrfach haben wir im vorhergehenden die chronischen Beschädigungen streifen müssen, und sie bilden in der Tat das eigentliche Objekt der wissenschaftlichen Erklärung. Wenn wir unter chronischen Schäden diejenigen verstehen, welche bei anhaltender Einwirkung sehr kleiner Säuremengen, allerdings erst in langen Zeiträumen, zum Tode des betreffenden Baumes führen, so sind derartige Schäden natürlich nicht auf die mehrfach genannten Fichten und Buchen beschränkt, sondern müssen an allen Holzgewächsen auftreten, welche außerhalb einer gewissen Entfernung von der Rauchquelle nicht absolut widerstandsfähig sind. Die Schnelligkeit, mit welcher die verschiedenen Baumarten der Einwirkung der Säure unterliegen, ist sehr ungleich groß, und auf Grund dieses Verhältnisses läßt sich eine Resistenzreihe der Bäume aufstellen. Die Erscheinung ist im wesentlichen bei allen Baumarten dieselbe, doch empfiehlt es sich zunächst, die Laub- und Nadelhölzer voneinander zu trennen. Ob der Höhenwuchs der Laubhölzer gehemmt wird, ist wohl, abgesehen von einigen extremen Fällen mit Eichenschlagholz, niemals näher untersucht worden. Die Schädigung macht sich zuerst bemerkbar in dem Verhalten des Wipfels. Die Blätter werden hier kleiner als in tieferstehenden Partien, sie nehmen an Zahl ab, der Wipfel fängt an durchsichtig zu werden, schließlich bildet er gar keine Blätter mehr, infolgedessen sterben die Zweige und Äste ab, und das Absterben des Baumes rückt nach unten weiter fort. Sehr auffällig ist dies charakteristische Absterben von der Spitze des Baumes nach der Basis hin bei der Eiche (siehe Abb. 9, S. 272, eine Eiche aus 31 des Probsteywaldes in der Nähe der Tiefenbachschneise). Während die Krone schon abgestorben ist, treten in tieferen Regionen noch normal grüne Blätter von scheinbar unveränderter Größe auf. Ist die Belaubung erst einmal stark dezimiert, stirbt der Stamm plötzlich ab. Etwas anders verhält sich die Buche, bei ihr kündigt sich das Leiden, wenigstens in dem Probsteywalde, schon zeitig durch eine Verfärbung der Blätter an, durch das in früheren Abschnitten bereits erwähnte vorzeitige Auftreten der Herbstverfärbung. Unsere Abb. 10 veranschaulicht uns eine Buche aus der großen Probstey in Nr. 31 an der Tiefenbachschneise. In dem Wipfel sind nur noch wenige Blätter vorhanden; nach unten wird die Belaubung stärker; an den Spitzen der Seitenzweige tritt hier und da die Belaubung zurück, es werden sogar kahle Zweigenden sichtbar. Etwas wird natürlich das Bild des Absterbens durch den Habitus der betreffenden Pflanzenart modifiziert. So weicht auch die Rauchbirke

durch ihren flatterigen Wuchs im Aussehen von der Eiche und Buche ab. Wie unsere Abb. 11, welche uns eine Gruppe von Birken und Kiefern aus dem Jagen 21 des v. Tiele-Winkler'schen Reviers bei Myslowitz-Kattowitz vorführt, erkennen läßt, leidet hier der Wipfel nicht wesentlich stärker als die übrigen Teile des Baumes. Links steht eine Gruppe von Birken, die noch etwas stärker belaubt sind, als die Birke in

Abb. 9. Rauchbeschädigte Eiche aus dem Probsteywalde.

der Mitte des Bildes. Die Rauchquelle hat man sich rechts in der Fortsetzung des Bildes zu denken. Die Zahl der Blätter ist sehr stark vermindert; die Blätter sind auch kleiner, als normal ist, aber doch ziemlich gleichmäßig über den ganzen Baum auf die letzten Verzweigungen verteilt. Die beblätterten Äste reichen noch ziemlich tief herunter. Etwas stärker als die übrigen Teile haben der Wipfel und die der Rauchquelle zu-

gekehrten Äste gelitten. Andere Laubbäume habe ich nicht Gelegenheit gehabt zu beobachten; ebenso sind meine Erfahrungen mit Nadelhölzern beschränkt und erstrecken sich nur auf Fichte und Kiefer.

Bei den Nadelhölzern ist die Beeinträchtigung des Höhenwuchses deutlich sichtbar, worauf auf S. 241 hingewiesen wurde und was hinsichtlich der Kiefer in der Abb. 8 erkennbar ist. Daraus geht hervor, daß sich

Abb. 10. Rauchbeschädigte Buche aus dem Probsteywalde.

die Beschädigung an der Kiefer im Absterben des Endes der Hauptachse bemerkbar macht. Sehr deutlich tritt das auch auf unserer Abb. 11 hervor; es ist ferner zu erkennen in den Abb. 19 und 20 bei Haselhoff und Lindau, welche gleichfalls dem v. Tiele-Winkler'schen Forstrevier bei Myslowitz-Kattowitz entnommen sind. Unter Umständen kann sich ein den Wipfel benachbarter Ast aufrichten und zur sekundären Krone werden.

Die Schädigung der Kiefern macht sich ferner und ebenso die der Fichten in einem vorzeitigen Nadelfall und in einem Absterben der tieferstehenden Äste bemerkbar. Das erstere Verhalten ist auffälliger bei der Fichte als bei der Kiefer, weil jene normalerweise eine größere Zahl von Nadeljahrgängen besitzt als diese. Bei der Kiefer können die drei Jahrgänge je nach dem Grade der Beschädigung auf einen oder zwei reduziert sein; bei der Fichte ist ein viel weiterer Spielraum möglich, die Anzahl der Nadeljahrgänge kann zwischen den normalen 7 und 1 schwanken. Im allgemeinen schreitet das Absterben der Nadeln und auch der Äste von der Basis nach der Spitze hin vor, doch nicht mit mathematischer Präzision, wie beispielsweise die Abb. 1 und 2 bei Baltz[1]) aus dem Barmer Rauchschadengebiete erkennen lassen. Auch lehren die Beobachtungen im Clausthaler Rauchschadengebiet, daß gelegentlich die Spitzen der Fichten oder mittlere Partien stärker leiden als die übrigen. Nicht minder kommen bedeutende Schwankungen hinsichtlich des Nadelfalles an einem und demselben Exemplare vor, ja in verschiedenen Teilen desselben Baumes kann der Nadelfall sehr ungleichmäßig verlaufen.

Die Nadeln der Rauchfichte sollen einen gelblichen Ton oder Mischtöne zwischen gelb, grün und grau annehmen. Für die Kiefer scheinen derartige Verfärbungen nicht beobachtet zu sein. Zwischen Kiefer und Fichte besteht also ein ähnliches Verhältnis wie zwischen Eiche und Buche. Die chronischen Beschädigungen machen sich auch in einer Beeinflussung des Längenwachstums der Nadeln bemerkbar.

Der gemeinsame Zug aller dieser chronischen Beschädigungen, wie sie für die fünf Waldbäume Eiche, Buche, Birke, Kiefer und Fichte dargelegt wurden, liegt in mangelhafter Ernährung der Pflanzen, die um so mangelhafter ist, je länger die Bäume der Einwirkung der Säure ausgesetzt sind. Dieser mangelhaften Ernährung entspricht die beträchtliche Verminderung der transpirierenden und assimilierenden Flächen, was durch Verkleinerung ihrer Oberfläche und Verminderung ihrer Zahl erreicht wird. Am deutlichsten tritt das bei den Nadelhölzern hervor, wo dies Ziel durch ein vorzeitiges Abwerfen der Nadeln und durch eine Beschränkung ihres Längenwachstums angestrebt wird. Würde man diese Erscheinungen, wie sie sich in einem Rauchschadengebiet darstellen, betrachten, ohne von einer Rauchwirkung etwas zu wissen, so würde man unbedingt zu dem Schluß kommen, daß durch irgend welche Umstände die Verhältnisse des Bodens sich verändert haben müssen, daß die Bäume gegen früher an Wasser und Nährstoffen Mangel leiden, und daß sie bestrebt sind, sich mit dem verfügbaren Vorrate nach besten Kräften einzurichten. Dementsprechend werden jährlich neue Blattorgane gebildet, solange überhaupt noch eine

[1]) Rauchschaden am Walde. Deutsche Forst-Zeitung, 15. Bd. 1900. S. 151.

Entwicklung stattfindet, und die älteren abgeworfen. Auch Verfärbungen, wie sie an den Nadeln der Fichte und den Blättern der Buche beobachtet werden, stehen hiermit nicht im Widerspruch; denn wie ich an anderer Stelle zeigen werde, treten die Verfärbungen auch bei einem ausgesprochenen Nährstoffmangel im Boden auf.

Die Analogie der chronisch beschädigten Bäume mit solchen, welche

Abb. 11. Gruppe von Birken und Kiefern aus dem Jagen 21 des v. Tiele-Winckler'schen Reviers bei Myslowitz-Kattowitz.

Mangel an Wasser und eventuell an mineralischen Nährstoffen leiden, ist so auffällig, daß man sich nicht wundern darf, wenn der Versuch gemacht wurde, die Erscheinungen aus Wassermangel der Bäume zu erklären. Hasenclever[1]) hat wiederholt darauf hingewiesen, daß die Zerstörung des

[1]) Über die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. Chem. Industrie 1879. — Kritische Beleuchtung einiger Gutachten über Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. 1889. Druck von C. H. Georgi-Aachen.

Waldes in der Probstey bei Stolberg entweder ausschließlich oder zum großen Teil auf durch unterhalb desselben betriebenen Bergbau herbeigeführte Wasserentziehung zurückzuführen sei. Er stützt seine Ansicht darauf, und erläutert sie durch Abbildungen, daß in den Fällen, wo durch Flußkorrektionen der Grundwasserspiegel tiefer gelegt wurde, die betreffenden Waldpartien in derselben Weise abstarben wie der beräucherte Probsteywald. Hasenclever irrt sich aber, denn die als Rauchbeschädigung angesprochenen Erscheinungen beschränken sich nicht auf die Waldpartien, unter denen Bergbau betrieben wird, sondern sind im ganzen, auch in entlegeneren Teilen des Waldes zu beobachten.

Die unter chronischer Rauchbeschädigung leidenden Waldbäume gehen sehr allmählich und langsam zugrunde, das Tempo hängt von der Länge der Exposition und von der Entfernung des Baumes von der Rauchquelle ab. Die allmählichen Veränderungen am Baume, die Verringerung der Zahl, die Verkleinerung der Blattorgane und zum Teil auch ihre Verfärbung, wodurch eine Verminderung der assimilatorischen Funktion bedingt ist, muß sich bei der engen Beziehung, welche zwischen der Ausbildung der Blattorgane und der Ausgiebigkeit des Dickenwachstums besteht, auch in diesem bemerkbar machen. Alle Berechnungen der forstlichen Sachverständigen bei Rauchschadenprozessen verfolgen ja die Aufgabe, den Zuwachsverlust festzustellen, woraus hervorgeht, daß unter diesen Umständen die Holzbildung beeinträchtigt ist und umsomehr nachläßt, je mehr der Baum seinem Ende entgegengeht. Von Reuß[1]) liegen eingehende Untersuchungen über den Zuwachsverlust der unter Rauchwirkung stehenden Fichten im Myslowitz-Kattowitzer Rauchschadengebiete vor. Auch Haselhoff und Lindau reproduzieren einige seiner Angaben auf S. 105ff. und S. 174. Aus diesen Messungen ergibt sich, daß der Zuwachs sehr gering werden, die Breite der Ringe auf Bruchteile eines Millimeters sinken und von solchen Bäumen ein Eingehen des Stammes nach einigen Jahren erwartet werden kann. In anderen Fällen sieht man wiederum den freilich stark gesunkenen Zuwachs jahrelang um einen bestimmten Wert herum schwanken. Für die Kiefer bilden Haselhoff und Lindau[2]) einen Querschnitt eines 77jährigen Stammes von Letmathe ab, an dem die starke Verkleinerung der Jahresringe während der letzten fünfzig bis sechzig Jahre zu beobachten ist. Es fehlt allerdings an jedem Beweis, daß diese Verschmälerung der Ringe während des ganzen Zeitraumes auf die Einwirkung des Rauches zurückzuführen ist; es darf

[1]) Rauchbeschädigung in dem v. Tiele-Winckler'schen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz. Goslar 1893.

[2]) L. c. S. 108.

nicht vergessen werden, daß auch unter normalen Verhältnissen die Jahresringe durchaus nicht während der ganzen Lebenszeit eines Baumes gleich breit ausfallen. Zum Teil hängt das von inneren Verhältnissen, zum Teil auch von der Stellung des Baumes zu seinesgleichen ab. Schwerlich werden beglaubigte Angaben über die Stellungsverhältnisse des Baumes während der letzten fünf Dezennien vorliegen. Der gleichfalls abgebildete Querschnitt durch den 25jährigen Stamm einer nicht beräucherten Kiefer beweist aus den angegebenen Gründen nichts.

Wie sich in den Jahresringen der Nadelhölzer, bei denen sie nur mit der Lupe gezählt werden können, wo also ihre Breite Bruchteile eines Millimeters ausmacht, die anatomischen Verhältnisse gestalten, scheint niemals untersucht worden zu sein. Eine Fichte, welche aller Voraussicht nach im folgenden Jahre eingehen würde, wurde Ende August 1904 im Walde bei Chemnitz abgesägt. Zu meiner Überraschung war noch mehr Holz gebildet worden, als ich erwartet hatte. Der Ring war exzentrisch, war aber noch vollkommen geschlossen und an der schmalsten Stelle drei Tracheiden breit, von denen zwei Frühlings- und eine Herbstholzcharakter hatte. Abgesehen von der geringen Zahl der Elemente waren also keine anatomischen Abweichungen vorhanden. Es ist aber nicht gesagt, daß sich alle Nadelhölzer so verhalten würden; nach anderweitigen Erfahrungen möchte ich das beispielsweise für die Weimutskiefer bezweifeln.

Größere Abweichungen im anatomischen Bau des Holzes darf man bei den Laubhölzern, bei denen er weniger monoton ist, erwarten. Mir liegen einige Untersuchungen an Buchen und Eichen in der kleinen Probstey aus dem Jahre 1896 vor. Da die Bäume hier sehr stark dem Hüttenrauch ausgesetzt waren, so hatten sie ungeheuer stark gelitten; die Kronen waren sehr stark gelichtet und teilweise abgestorben. An Bohrspänen, welche ich am 25. August entnahm, konnte ich unter dem Mikroskop folgendes feststellen. Am 25. August war an allen untersuchten Exemplaren, sowohl Eichen wie Buchen, der Jahresring vollendet.

Buche.

		I	II
1. Große dicke Buche			
Breite des Jahresringes	1896	1,28 mm	1,38 mm
„ „ „	1895	1,66 „	1,74 „

Es waren zwei Späne (I, II) an verschiedenen Stellen entnommen worden. Stärke reichlich in Holz und Rinde vorhanden.

2. Kleinere Buche.

Breite des Jahresringes	1896	1,28 mm
„ „ „	1895	1,48 „

Holz reich an Stärke, der letzte Ring am wenigsten. Rinde enthielt nur wenig Stärke.

Eiche.

3. Große dicke Eiche.

		I	II
Breite des Jahresringes	1896	0,71 mm	0,5 mm
„ „ „	1895	0,89 „	0,67 „

Auch hier wurden zwei Späne (I, II) untersucht; die Zahlen zeigen, daß das Exemplar exzentrisch wächst. Für den ersten Span wurde auch die Breite der Frühlingszone mit den großen Gefäßen bestimmt. Sie betrug 0,56 mm. Bei dem ersten Span waren auf dem Schnitt 10 Ringe zu verfolgen, welche in allen Teilen reichlich Stärke enthielten. Auch in dem durch den zweiten Span geführten Schnitt ließ sich reichlich Stärke im Holz nachweisen.

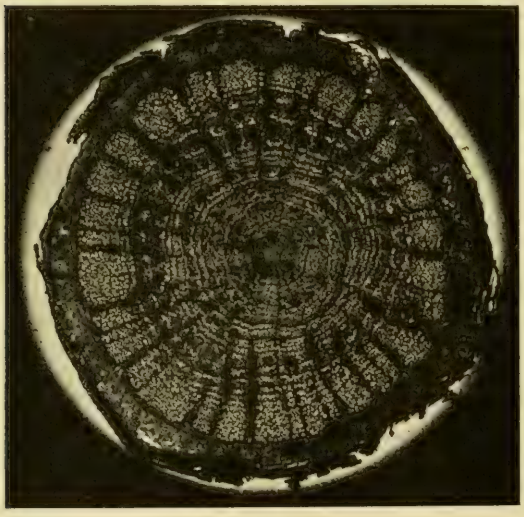


Abb. 12.
Kriechender Stamm einer Eiche aus dem Eschweilerer Walde (5. Aug. 1896). Querschnitt durch einen Ast. Vergr. $3^2/_3$.

4. Kleinere Eiche.
Breite des Jahresringes:
1896 0,42 mm
1895 0,52 „
Die Zone der weiten Gefäße war 0,29 mm breit. Die Stärke im Holz läßt sich rückwärts durch 11 Ringe verfolgen und zwar ist sie reichlich vorhanden, ebenso in der Rinde.

5. Eiche, die so stark beschädigt ist, daß ihr Eingehen für das folgende Jahr zu befürchten war. Der Jahresring ist sehr schmal und besteht eigentlich nur aus einer Gefäßreihe, und so verhält es sich schon seit einigen Jahren. Die dann folgenden älteren Ringe sind etwas breiter. Ablagerung von Stärke ist sehr gering; am meisten ist noch in den letzten Ringen vorhanden. Auch in der Rinde ist nur wenig abgelagert.

Aus dieser immerhin noch beschränkten Anzahl von Untersuchungen geht doch schon soviel hervor, daß die Beeinträchtigung des Dickenwachstums bei der Eiche viel bedeutender ist als bei der Buche, obgleich die beiden Baumarten unmittelbar nebeneinander, also unter denselben Bedingungen stehen. Der Jahresring dieser kranken Buchen unterscheidet sich von einem normalen nur durch seine geringere Breite, der der Eiche hingegen wird dadurch sehr auffällig, daß er bei sehr starker

Beschädigung des Baumes auf das Frühlingsholz reduziert ist, welches sich sehr charakteristisch von dem Sommer- oder Herbstholz unterscheidet. Wie das Eichenholz aussieht, wenn mehrere Jahre hintereinander nichts anderes als Frühlingsholz, d. h. nichts anderes als die erste Schicht großer Gefäße gebildet wird, veranschaulicht uns die Abbildung 12 auf S. 278, wo die einheitliche poröse Holzmasse vielleicht 10 Jahre umfassen mag. Dies Bild ist nicht etwa der Eiche unter Nr. 5 entnommen, sondern stammt von dem Ast einer kriechenden Eiche aus dem Eschweilerer Walde, auf die an anderer Stelle noch näher eingegangen werden wird. Aber ein wesentlicher Unterschied zwischen diesem Eichenholz und dem der unter 5 aufgeführten Eiche ist nicht vorhanden. Höchstens tritt bei den Hochstämmen eine wenigstens unter dem Mikroskop sichtbare Jahresgrenze selbst bei außerordentlicher Reduktion der Jahresringe noch hervor. Die Zeichnung 14 führt ein kleines Stück aus derartigem porösem Eichenholz vor, das von einer wipfeldürren Eiche aus dem Probsteywalde (45a in der Nähe des Pflanzgartens bei 44) stammt. Es wurde am 2. Oktober 1896 aus dem Wipfel ein Ast mit gesunden und abgestorbenen Trieben heruntergeholt. Unsere Zeichnung führt uns 5 Jahresringe, den ersten und letzten allerdings nicht ganz vollständig vor. Die drei mittleren Ringe haben eine Breite von 0,18, 0,13 und 0,18 mm. Es ist hier aber noch überall die Grenze zwischen zwei Ringen zu sehen, welche sich durch die Verkürzung des radialen Durchmessers der parenchymatischen Zellen markiert. Das trifft nicht mehr mit aller Schärfe für das Holz der kriechenden Eichen im Eschweilerer Walde zu. Die Abbildung 12 führt uns den Querschnitt eines Astes einer kriechenden Eiche in der Nähe der Hütte Birkengang vor. In den ersten Jahren ist ein normaler Ring gebildet worden; das poröse Holz beginnt mit dem 4. Jahre und mag sich etwa durch 10 Jahre hinziehen, was mit Sicherheit nicht festzu-

Abb. 13.
Etwas höhere Eiche aus dem Eschweilerer Walde (5. Aug. 1896). Querschnitt durch einen Ast. Vergr. $3^2/_3$.

stellen ist. In der Abbildung 15 ist ein kleines Stück desselben wiedergegeben worden. Eine deutliche Jahresringgrenze ist nirgends mehr zu sehen, nicht einmal in dem Markstrahl, der die ganze Zeichnung durchzieht. Vermutlich treten hier überhaupt keine geschlossenen Ringe mehr auf, sondern nur Gruppen von Gefäßen mit dem dazugehörigen Parenchym, die sich dann unregelmäßig zusammenschließen. In den verschiedenen Jahren sind die Gefäße von wechselnder Größe.

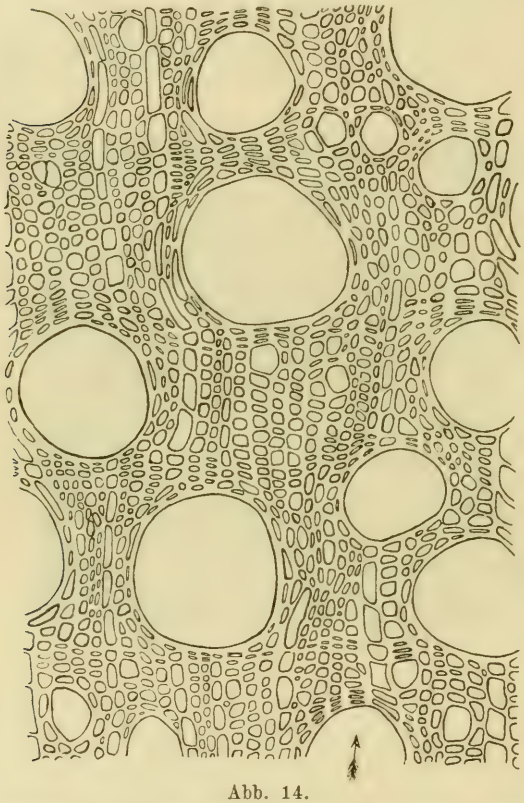


Abb. 14.
Querschnitt durch das poröse Holz eines Astes aus dem dürren Wipfel einer Eiche im Probsteywald in 45 a. Vergr. 144.

Entfernt man sich einige hundert Meter von diesen kriechenden Eichen nach der der Hütte abgewandten Richtung, so nimmt der Höhenwuchs der Bäume zu und das poröse Holz macht wiederum der normalen Holzbildung Platz, wie die Abbildung 13 veranschaulicht. Hier haben die letzten drei Ringe, von außen nach innen gezählt, eine Breite von 0,8, 0,5 und 1 mm; der Bau des Holzes ist der normale. Selbst bei so engen Ringen, wie ihn die hier besprochenen Eichen aufweisen, macht sich nach Jahrgängen noch ein Schwanken in der Breite bemerkbar, wie es immer an normalen Bäumen zu beobachten ist, wenn man darauf achtet.

Diese stark beschädigten Eichen lehren in ausgezeichneter Weise, daß bei Mangel an Nährstoffen die Pflanze bestrebt ist, noch die für die in Ausbildung begriffenen Blätter erforderlichen Leitungsbahnen zu schaffen, daß dann aber die Tätigkeit des Dickenwachstums für die betreffende Vegetationsperiode eingestellt wird. Es leidet darunter besonders das Gewebe, welches das Eichenholz wertvoll macht, das mechanische Gewebe, für dessen Vermehrung bei Verminderung der Blattmasse auch kein Bedürfnis vorhanden ist.

In den aufgeführten Fällen wurden Bäume untersucht, bei denen

die Beschädigungen sehr weit vorgeschritten waren; bei minderem Grade der Beschädigung wird nur die Breite der Ringe reduziert. Ob eine Beeinträchtigung des Dickenwachstums bereits zu beobachten ist, wenn die Belaubung noch durchaus normal hinsichtlich Zahl und Größe der Blätter ist, ist wohl nicht geprüft worden, dürfte sich auch schwer feststellen lassen, da auf die Ausgiebigkeit der Holzbildung auch noch andere Faktoren wie Standorts- und Witterungsverhältnisse einwirken. Und doch wäre die Kenntnis dieser Tatsache zur Erklärung des allmählichen Rückganges des Dickenwachstums sehr wesentlich.

Die mit schließlichem Absterben des Baumes verbundene Einwirkung

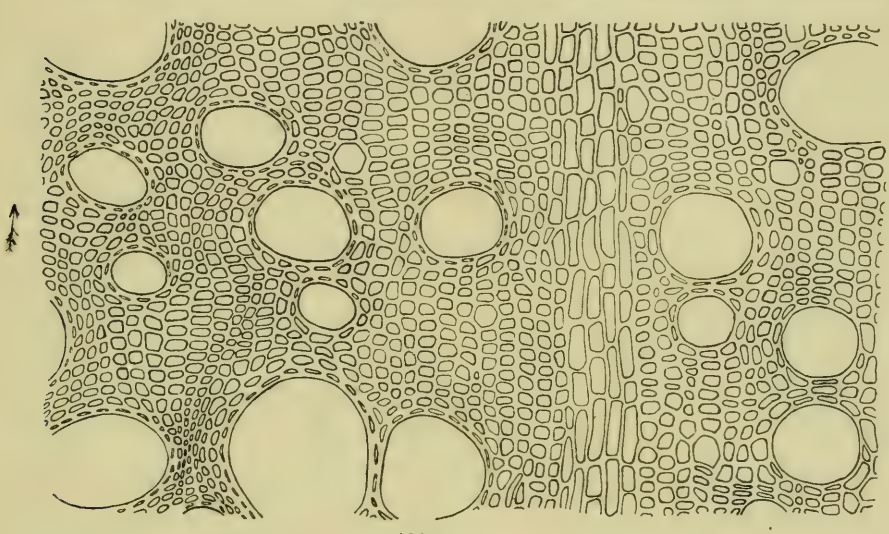


Abb. 15.
Vergrößerte Partie aus dem porösen Holz des in 12 abgebildeten Astquerschnittes. Vergr. 156fach.

der Säure ist nicht leicht befriedigend zu erklären. Wenn der Baum von großen Massen Säure getroffen wird, sodaß die Blätter ganz oder zum größeren Teil absterben, und sich dieser Vorgang einige Jahre hintereinander wiederholt, so muß der Baum zugrunde gehen, da die Menge organischer Materie unzureichend ist, um neue Blätter zu produzieren. Derartige Fälle sind heute aber jedenfalls sehr selten; vielleicht spielen solche energische Einwirkungen eine wichtige Rolle bei den Verwüstungen in der Nähe des Kamins und des den Berg hinauf geleiteten Kanals bei Silberhütte im Selketal. In früheren Jahren mögen sie überall sehr viel häufiger gewesen sein, als schweflige Säure und Salzsäure in größeren Mengen in die Luft gelassen wurden. Im allgemeinen werden sie heute nur in der unmittelbaren Nähe von Rauchquellen auftreten, und selbst

hier werden sie gegenüber den chronischen Beschädigungen erheblich zurücktreten. Jedenfalls laufen an solchen Lokalitäten die chronischen Beschädigungen mindestens nebenher. Auf diese konzentriert sich denn auch das gesamte wissenschaftliche und, man möchte sagen, auch das praktische Interesse.

Nachdem aus den Versuchen das Verhalten der einzelnen physiologischen Funktionen der Pflanzen gegen die schweflige Säure feststeht, müßte es möglich sein, die als chronische Beschädigungen bekannten Erscheinungen befriedigend zu erklären.

Durch Versuche läßt sich feststellen, daß das Längenwachstum der Achsen und Blätter durch die schweflige Säure beeinflußt werden kann; durch Versuche konnte gezeigt werden, daß die bei den chronischen Schäden auftretenden Verfärbungen der Nadeln der Fichte und der Blätter der Buche auch künstlich hervorgerufen werden können. Es konnte ferner der Nachweis geführt werden, daß, unabhängig von äußerlich wahrnehmbaren Veränderungen, die Assimilation durch die Einwirkung der Säure herabgedrückt und die Ableitung der Assimilate verzögert wird, wodurch erstere wieder ungünstig beeinflußt werden kann. Damit scheint die Möglichkeit geboten zu sein, die in den Rauchschadengebieten beobachteten Erscheinungen verständlich zu machen. Die Beeinträchtigung des Höhenwuchses der Bäume und die geringe Größe der Blattorgane würden demnach eine direkte Wirkung der Säure auf das Wachstum sein können. Die Verfärbungen der Blattorgane und ihr vorzeitiger Fall könnten gleichfalls auf eine direkte Säurewirkung zurückgeführt werden. Gleichzeitig bedingt diese Verfärbung eine Herabsetzung der Assimilationstätigkeit, die durch die direkte Beeinflussung durch die Säure und durch die Verlangsamung der Ableitung der Assimilate noch mehr herabgedrückt wird. Dieser verminderten Produktion plastischen Materials entspricht dann eine Reduktion der Holzbildung; auch muß bei vermindertem Zustrom der organischen Nährstoffe das Wachstum der Achsen und Blätter ungünstig beeinflußt werden. So steigern sich gegenseitig die Verhältnisse zuungunsten einer Entwicklung der Pflanzen. Die assimilatorische Leistung der Blattflächeneinheit würde bei Bäumen unter Raucheinwirkung geringer sein als bei Bäumen unter normalen Vegetationsverhältnissen. Die Gesamtmasse der Blattfläche müßte geringer als bei normalen Bäumen sein. Die Gesamtproduktion eines solchen Baumes müßte also von Jahr zu Jahr geringer und schließlich gleich Null werden. Nur von dem Grade, in welchem die Assimilation und das Wachstum beeinflußt werden, hinge es ab, wie schnell der Baum abstürbe; der Grad der Beeinflussung muß aber in Beziehung zu der angewandten Konzentration der Säure stehen. Je reicher die Luft an Säure ist, um so schneller müßte die Pflanze zugrunde gehen.

Im allgemeinen würde das auch zutreffen, indem mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle die Schnelligkeit des Absterbens sich vermindert. So scheint sich denn in befriedigender Weise die Zerstörung der Waldungen unter Hüttenrauch als eine direkte Wirkung der schwefligen Säure auf die Blattorgane der Bäume darzustellen. Diese Argumentation hat jedoch einen Fehler. Sie trifft nur zu, wenn die Pflanzen im Freien denselben Konzentrationen ausgesetzt sind, wie sie in den Versuchen zur Anwendung kamen. Ob sie das sind, ist für bestimmte Funktionen fraglich, für andere zu verneinen. Nach den Erfahrungen mit den mir zugänglichen Versuchsobjekten wird das Längenwachstum der Achsen und Blätter nur bei Anwendung sehr hoher Konzentrationen, wie sie als ganz ausgeschlossen an den Orten gelten müssen, wo die chronischen Beschädigungen auftreten, hervorgerufen. Dies Moment fällt also weg. Die Beeinträchtigung des Höhenwuchses der Stämme und des Flächenwachstums der Blätter kann lediglich mit den herabgesetzten Ernährungsverhältnissen zusammen hängen. Ähnlich liegen aber die Verhältnisse für das Auftreten der Blattverfärbungen. Auch für sie müssen verhältnismäßig hohe Konzentrationen vorausgesetzt werden; denn in den Versuchen, wo die Verfärbungen sehr prägnant auftraten, waren auch Beschädigungen von Blattsubstanz zu verzeichnen, die im Freien so außerordentlich selten sind, weil die Konzentration nicht hoch genug ist. Eine genaue Bestimmung des Gehaltes der Luft an Säure in dem Räucherhause halte ich für unausführbar, wie ich in einem früheren Kapitel dargelegt habe. Die Konzentration, bei welcher sich die Verfärbung hervorrufen läßt, ließe sich genau nur bestimmen, wenn man die Versuche in anderer Weise ausführen würde. Wie wenig auf die Ermittlung der Konzentration im Räucherhause zu geben ist, lehren auch die Angaben von Wislicenus. Bei seinen ältesten Versuchen[1]) waren innerhalb zweier Monate sämtliche Fichten vernichtet bei einer Konzentration, die auf etwa 1 : 1000000 berechnet war. Bei seinen späteren Versuchen[2]), die im einzelnen nicht beschrieben sind, bei denen aber die Ventilation des Räucherhauses verbessert worden war, kommt er zu dem Schluß, daß mit der Konzentration 1 : 500000 in der freien Natur der Unschädlichkeitsgrad erreicht werde. Bei dieser Konzentration sind die jungen Fichten im Räucherhause erst im Laufe einer ganzen Vegetationsperiode zugrunde gerichtet worden; einzelne Exemplare blieben allerdings ganz verschont. Da es sich hierbei

---

[1]) Resistenz der Fichte gegen saure Rauchgase bei ruhender und bei tätiger Assimilation. Tharander forstl. Jahrbuch, Bd. 48.

[2]) Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. Zeitschrift für angewandte Chemie 1901. Heft 28.

aber um viel energischere Einwirkungen handelt als bei den chronischen Beschädigungen im Freien, wo die Bäume erst im Laufe von vielen Jahren absterben, so muß die Konzentration höher gewesen sein als 1 : 500000, womit der Unschädlichkeitsgrad erreicht sein soll. Ich führe das hier an, um zu zeigen, wie wenig auf die Bestimmungen der Konzentration im Räucherhause zu geben ist, und daß meines Erachtens nach die Konzentration immer eine verhältnismäßig hohe gewesen ist, wenn sichtbare Veränderungen an den Versuchspflanzen im Räucherhause auftreten.

Etwas genauere Zahlen besitzen wir über die Säurekonzentration, durch welche die Assimilation beeinflußt wird. Auch hier läßt sich beobachten, daß durchgehends bei hohen Konzentrationen der Assimilationsabfall ein bedeutender ist; bei stärkeren Verdünnungen bleibt er aus oder ist meistens erheblich geringer. Nur ausnahmsweise findet noch bei sehr starker Verdünnung eine beträchtliche Assimilationsverminderung statt. Die letzteren Fälle sind natürlich ausschlaggebend. So darf man damit rechnen, daß bei der Fichte und der Buche noch bei einer Konzentration von 1 : 300000 die Assimilation einen erheblichen Abfall erleiden kann. Bei der Eiche hingegen wurde eine Beeinflussung der Assimilation nur bei sehr hohen Konzentrationen beobachtet. Ob diese Assimilationsverminderung praktisch wirklich von ausschlaggebender Bedeutung ist, ist sehr schwer zu entscheiden. Zunächst kann dieser Verminderung auch wieder eine Förderung der Assimilation gegenüberstehen. Nach den Untersuchungen von Treboux[1]) mit Elodea canadensis steigern starke Säureverdünnungen die Assimilation ganz erheblich, bis zu 100%. Wenn die Blattzellen der Bäume sich ebenso verhalten, wofür allerdings meine Versuche keinen näheren Anhalt geboten haben, so wird je nach der Menge Säure, welche sie aus der Luft aufnehmen können, bald eine Begünstigung, bald eine Benachteiligung der Assimilation Platz greifen. Da die Pflanzen infolge der Windverhältnisse nicht immer von den gleichen Säurekonzentrationen getroffen werden, so wird sich Begünstigung und Benachteiligung vielleicht die Wage halten.

Die im Räucherhaus längere Zeit der Einwirkung der Säure ausgesetzten Exemplare hatten, wenn die Blätter ihre Farbe nicht veränderten, stark assimiliert. Da aber durch die Säure auch die Ableitung der Assimilate beeinflußt wird, so könnte hier allerdings eine Täuschung vorliegen. Im Freien die Frage mit Hilfe der Sachs'schen Jodprobe zu entscheiden, habe ich vergeblich versucht.

Selbst wenn man weiß, bei welcher Konzentration die Säure be-

---

[1]) Einige stoffliche Einflüsse auf die Kohlensäureassimilation bei submersen Pflanzen. — Flora 1903. 92. Bd. S. 65.

stimmte Beschädigungen hervorruft oder die einzelnen Funktionen beeinflußt, so nützt doch solche Kenntnis nichts, so lange man nicht weiß, welche Säurekonzentrationen in der Luft eines Rauchschadengebietes herrschen. Es schien mir deshalb notwendig zu sein, einmal einige Bestimmungen über den Säuregehalt der Luft im Probsteywalde zu Stolberg auszuführen. Ich habe 11 Bestimmungen, 4 in der kleinen und 7 in der großen Probstey ausführen lassen. Die näheren Angaben folgen in einem späteren Abschnitt. Die Bestimmungen lieferten folgenden Säuregehalt der Luft in der

kleinen Probstey	großen Probstey
1. 1 : 1888170	5. 1 : 216000
2. 1 : 274700	6. 1 : 450000
3. 1 : 390000	7. 1 : 380000
4. 1 : 662000	8. 1 : 431200
	9. 1 : 504000
	10. 1 : 315000
	11. 1 : 460000

Das sind so hohe Konzentrationen, daß man von ihnen eine Einwirkung wenigstens auf die Buche, welche nach meinen Untersuchungen sehr leicht auf die Säure reagiert, erwarten darf. Besonders wird man an eine Assimilationsverminderung denken; ob dieselbe aber so bedeutend werden kann, daß sie ein vorzeitiges Absterben zur Folge haben wird, ist nach den Ergebnissen der Assimilationsversuche zu bezweifeln. Man müßte also annehmen, daß die gefundenen Konzentrationen die Verfärbung der Blätter direkt bewirken könnten. Ob das möglich ist, müßte erst noch durch besondere Versuche festgestellt werden.

Wenn es nun auch möglich wäre, auf Grund der Experimente und der Bestimmung des Säuregehaltes der Luft die chronische Beschädigung der Buche in der Probstey befriedigend zu erklären, so kann das Gleiche doch nicht von der Eiche gesagt werden. Nur sehr hohe Konzentrationen rufen direkte Beschädigungen der Blätter hervor; auch reagieren die Blattzellen sehr schlecht auf die Säure, was besonders bei der Assimilation hervortrat. Eine Verfärbung der Blätter wird im Freien nicht beobachtet. Wenn eine solche gelegentlich im Räucherhause wahrgenommen wurde, so beweist das, daß die Säurekonzentration höher gewesen sein muß als für gewöhnlich im Freien. Es ist wohl nicht wahrscheinlich, daß die Blätter der hochstämmigen Eiche empfindlicher sind als die der jungen Versuchspflanzen, und daß unsere Versuchsergebnisse demnach nicht ohne weiteres auf sie zu übertragen wären. Vor der Hand müssen wir also daran festhalten, daß die Eiche viel weniger empfindlich ist als die Buche. Wenn sie dennoch im Probsteywalde viel mehr leidet als die Buche und eher zugrunde geht als diese, so muß noch ein Faktor hinzukommen, der

für das allmähliche Absterben der Bäume in den Rauchschadengebieten von ausschlaggebender Bedeutung ist. Dieser Faktor kann nur der Boden sein, der ja auch ebenso wie die oberirdischen Teile der Gewächse direkt von der in der Luft enthaltenen Säure getroffen wird. Etwaige Veränderungen, welche er dadurch erleidet, werden auch die auf ihm wachsenden Pflanzen beeinflussen. Im folgenden Kapitel soll untersucht werden, ob und welche Veränderung der Boden durch die Säure erleidet.

Die Zerstörung des Baumes bleibt nun nicht ohne Einwirkung auf das Vegetationsbild, welches uns ein unter Hüttenrauch stehender Wald darbietet. Im einzelnen sind die Veränderungen, welche die Vegetation erfährt, nicht untersucht, sondern nur die Hauptzüge festgelegt worden. Das Bild der Zerstörung ist im allgemeinen am schlimmsten in der Nähe der Rauchquelle. Von hier aus nimmt sie mit wachsender Entfernung ab, bis sie schließlich in einer je nach der Örtlichkeit und der Menge der in die Luft ausströmenden Säure verschieden großen Entfernung gleich Null wird. Hat die Einwirkung der Säure lange genug angehalten, so pflegt in der Nähe der Rauchquelle alle Vegetation verschwunden zu sein, es ist eine Rauchblöße entstanden. An diese schließt sich eine Zone mit Grasvegetation, welche erst vielleicht in Büscheln, dann als geschlossene Schicht, in welcher einzelne verkrüppelte Bäume als Vorläufer des Waldes, der mit wachsender Entfernung höher und geschlossener wird, auftreten. In manchen Gegenden schaltet sich zwischen die Rauchblöße und den Wald noch eine Heidekrautvegetation ein, so in den Rauchschadengebieten bei Clausthal und Altenau im Harz und bei Myslowitz-Kattowitz in Schlesien; im Eschweilerer Walde bei Stolberg a. Rh. fehlt sie. Auf die Verhältnisse dieses Waldes werde ich in einem anderen Kapitel näher eingehen, hier möchte ich, um eine Vorstellung von den Rauchschadengebieten mit Heideformation zu geben, eine Schilderung des Rauchschadengebiets bei der Clausthaler Silberhütte nach Haselhoff und Lindau[1]) folgen lassen.

»Die Hänge in unmittelbarer Nähe der Hütte bieten die größte Schädigung dar. Sie sind vollkommen vegetationslos, an einzelnen etwas geschützteren Stellen wächst etwas Gras, das aber auch meist gelb und kränklich aussieht. Auf dem von der Grasnarbe entblößten Boden treiben Wind und Regen ihr Spiel. An den meisten Stellen ist der Humus bereits heruntergespült und unfruchtbares Geröll oder nackter Fels treten zu Tage. Da die Hänge größtenteils mit tiefem Geröll bekleidet sind, so sieht man mächtige Regenfurchen vom Kamme bis zur Talsohle hinunterziehen.

[1]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Leipzig. Gebr. Borntraeger 1903. S. 153.

Die Abschlämmung des Bodens macht natürlich mit jedem Jahre größere Fortschritte. Man wird kaum ein schöneres Beispiel für den alten Satz finden, daß die Vegetation ganz allein es ist, die den Humus an den Hängen festhält und das Wasser verhindert, sich allzu schnell ins Tal zu stürzen. Alle diese Abhänge sind natürlich für immer der Kultur verloren. Wenn der Abspülungsprozeß noch weiter geht, so werden schließlich auf allen Seiten kahle Felswände die Hütte umgeben.

Nach allen Seiten hin finden sich nun Übergänge von dem kahlen vegetationslosen Boden zu dem mit niedriger Vegetation bewachsenen. Namentlich tritt dies deutlich hervor, wenn man von der Hütte aus nach Wildemann hinuntergeht. Man trifft zuerst auf spärliche Heidesträucher (Calluna vulgaris), allmählich schließen sie sich zu dichterem Wuchs, dazwischen tauchen auch Gramineen auf und zuletzt überzieht wieder eine zusammenhängende Vegetationsdecke den Boden. An feuchteren Stellen, so in der Nähe der Innerste treten dann kleine Baumkrüppel auf. Meist sind es Birken, die sich selbst ausgesät haben oder auch einzelne kümmerliche kleine Fichten und Kiefern, die Überreste einstiger Anpflanzungen aus der Zeit, wo man noch mit Hochdruck die Wiederbewaldung der Blößen erzielen wollte. Eine Rauchblöße in diesem Stadium macht den Eindruck einer echten Heide. Es ist also in der ganzen norddeutschen Tiefebene überall dieselbe Erscheinung zu beobachten; wenn der Wald verschwindet, tritt die Heide seine Erbschaft an.

An den Rändern der Blöße treten dann allmählich wieder größere Bäumchen auf. Fichten und Kiefern, dazwischen auch Unterholz, bilden die ersten Vorstufen des Waldes. An den unteren Hängen treffen wir noch lückigen Bestand in allen Übergängen zur Heide. Weiter hinauf schließt sich der Bestand dichter zusammen, und mit dem Kamme hören im allgemeinen die Schäden auf. An der äußersten Schadensgrenze bezeugen nur noch gelbliche Nadeln und trockene Äste einiger Bäume, daß bis auf die Höhe hinauf die Wirkung des Rauches sich geltend macht« [1]).

Welche Veränderung die niedrige Vegetation, die Gräser, die krautartigen Pflanzen und die kryptogamischen Gewächse in den verschiedenartigen unter Rauchwirkung stehenden Wäldern erleiden, ist noch näher zu untersuchen. Beobachtet hat man, daß die Überpflanzen stark zurücktreten. So sind in der Probstey die Stämme ganz oder fast ganz frei von Moosen und Flechten. Es ist aber nicht nur die Abwesenheit dieser

---

[1]) Eine eingehende Schilderung unter Beigabe von Karten findet sich in v. Schroeder und Reuß, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden, Berlin 1883. — Die topographischen Verhältnisse sind auch ersichtlich aus dem Meßtischblatt Section Seesen (1 : 25000).

Gewächse, welche den Buchenstämmen hier ein so eigentümliches Aussehen verleiht, sondern die Farbe der Rinde ist eine vom Normalen abweichende geworden; sie hat einen eigentümlichen grauen Ton angenommen.

Eine andere auffallende Erscheinung ist die von v. Schroeder und Reuß geschilderte Anhäufung unzersetzter Nadeln unter den chronisch beschädigten Fichten in den Rauchschadengebieten des Oberharzes. Sie haben Schichten von 30—40 cm Tiefe gefunden. Auch in einem jüngeren unter Rauchwirkung stehenden Fichtenbestande bei Barmen schien eine ungewöhnlich starke Anhäufung von unzersetzten Nadeln vorhanden zu sein.

Es darf auch nicht unerwähnt bleiben, daß die Bäume, welche ihre Wipfel über das Laubdach des Waldes erheben, mehr leiden als die anderen. Und an solchen hohen und alten Bäume sieht man nicht selten — bei niedrigeren Bäumen tritt die Erscheinung auch aber meistens in geringerem Grade auf — um den Fuß herum alle Vegetation fehlen, während sie unter normalen Umständen vorhanden sein würde. Auf diese Erscheinung ist man zuerst in England aufmerksam geworden, und in einem Bericht einer besonderen vom englischen Parlament eingesetzten Rauchschaden-Kommission, um die durch die zunehmende Industrie hervorgerufene Kalamität der Einwirkung saurer Gase auf die Vegetation zu untersuchen, ist sie öffentlich zur Sprache gebracht worden. Der Bericht selbst ist mir nicht bekannt, aber einem Zitat aus demselben bei Borggreve[1]), der ihn zur Stütze seiner Ansicht, daß die Schädigung der Bäume durch Vermittelung der Bodenlösung stattfindet, heranzieht, entnehme ich die folgende Stelle. Auf die an ihn gerichtete Frage, ob an dem Fuß der Bäume das Gras nicht wüchse, antwortete Sir R. Brooks: »Fast alle Bäume, besonders aber die großen, sind von einem vollständig kahlen Fleck umgeben, welcher von der vom Baum herabfließenden, alle Vegetation zerstörenden Säure herrührt. Nichts will dort wachsen. Vergeblich hat mein Gärtner versucht, ob irgend etwas darauf wachsen kann. Es bleibt eine kahle Fläche um alle Bäume herum«. Das Gleiche hatte auch Earl Percy beobachtet.

Später ist die Beobachtung auch anderwärts von anderen Forschern gemacht worden, so z. B. wiederholt von Oster und Borggreve, und beide halten sie für ein sehr charakteristisches Symptom des Rauchschadens. Nach Borggreve ist »die vollständige Tötung einer übrigens bei mäßiger Beschirmung an sich noch sehr wohl lebensfähigen Gras- und

---

[1]) Waldschäden im Oberschlesischen Industriebezirk. — Zeitschrift des Oberschlesischen Berg- und Hüttenmännischen Vereins. Frankfurt a. M., J. D. Sauerländers Verlag 1895. S. 88.

Kräutervegetation unter der Traufe von zwar vielleicht leidenden, aber doch noch grünen Bäumen« das meist charakteristische Symptom des Rauchschadens. Ich selbst habe solche vegetationslose Stellen um die absterbenden Bäume herum in der kleinen Probstey gesehen, und sehr instruktiv ist ihr Auftreten im Buchenhochwald in der großen Probstey in Nr. 47. Die kahlen Stellen sind von sehr ungleicher Größe. Zum Teil umgeben sie den ganzen Stamm, zum Teil befinden sie sich nur an einer Seite desselben. Hier wird es ganz deutlich, daß sie von dort ihren Ausgang nehmen, wo das mit Säure beladene Regenwasser am Stamme herabfließt.

Kapitel IV.

Die Einwirkung der Säure auf den Boden.

Daß die Säure ebenso gut auf den Boden wie auf die oberirdischen Teile der Pflanzen gelangt, ist niemals übersehen worden. Im Anfange, als man die Rauchschäden zum Gegenstande einer wissenschaftlichen Untersuchung machte, hat man sogar das Hauptgewicht auf den Boden gelegt, indem man sich vorstellte, daß die Säure aus der Luft durch den Boden in die Pflanzenwurzeln eindringen und von hier in die Blätter gelangen sollte. Diese Ansicht ist irrig, wenn auch Borggreve[1]) noch bis heute daran festhält. Aus chemischen und physiologischen Gesichtspunkten erweist sie sich als unhaltbar; auch zeigen die Experimente, daß einer direkten Beschädigung der Blätter durch die Säure der Luft nichts im Wege steht. Gegenüber einer solchen extremen Auffassung war es eine gesunde Reaktion, als die Wirkung von seiten des Bodens ganz abgewiesen wurde, indem dargelegt wurde, daß die Säure gebunden würde, wenn sie auf den Boden aufträfe. Indem man die auf den Boden fallende Säure für sehr gering ansah, glaubte man, sie ignorieren zu können, und verfiel in das andere Extrem, den Boden bei Beurteilung der Rauchbeschädigung ganz unberücksichtigt zu lassen. Man ließ außer acht, daß schließlich auch kleine Mengen Säure wesentliche Veränderungen hervorrufen können, wenn sie nur lange und anhaltend genug den Boden treffen, und daß die Wirkung der Säure ja eventuell auch eine indirekte, darum aber nicht minder bedeutsame sein kann.

Drei Erscheinungen sprechen dafür, daß der Boden bei Beurteilung der Rauchbeschädigungen nicht unberücksichtigt bleiben darf: das Auftreten von Rauchblößen in der Nähe der Rauchquellen, das Auftreten der oben erwähnten Rauchblößen um höhere und ältere Bäume herum und das Vorhandensein mächtiger Massen unzersetzter Nadeln unter chronisch beschädigten Fichten. Für die Rauchblößen ist wohl die landläufige An-

[1]) l. c. S. 85, 181.

nahme, daß sie Blößen sind, weil die Vegetation vernichtet worden ist, und weil neue Pflanzen, die sich hier ansiedeln wollten, gleichfalls sofort getötet werden würden. Den zweiten Punkt hat man ignoriert, und ich glaube nicht, daß er z. B. in dem Handbuch von Haselhoff und Lindau erwähnt ist. Der dritte Punkt harrt noch bis heute der Erklärung. Soweit man eine solche versucht hat, hat man die Ursache für die Erscheinung in die Nadeln selbst hineinverlegt, ich möchte sie im Boden suchen. Was den ersten Punkt anbelangt, so liegen die Verhältnisse komplizierter, als gemeiniglich angenommen wird. Schon v. Schroeder und Reuß[1]) haben sich die Frage vorgelegt, ob es sich bei den Rauchblößen lediglich um eine Vernichtung der Vegetation handle, oder ob der Boden selbst vergiftet werde. Um diese Frage zu entscheiden, hat Reuß in seinen rauchfrei gelegenen Forstgarten 1879 Boden von der Clausthaler Rauchblöße schaffen lassen und darin Bäume kultiviert. Es wurde eine Grube von 4 m Länge, 2 m Breite und 30 cm Tiefe ausgehoben und in diese der Boden gefüllt. Er bestand aus mildem Lehm mit etwas Humus und war mit nur halb oder gar nicht zersetzten Nadelabfällen gemengt. An organischen Stoffen enthielt er 24,95 %. Auf dies Areal von 8 qm wurden ausgepflanzt:

244	Stück	1	jährige	Fichten,
200	„	1	„	Kiefern,
200	„	1	„	Buchen,
145	„	2	„	Ahorn (Pseudo-Platanus),
162	„	1	„	Eschen,
110	„	1	„	Eichen.

„Im ersten Jahre blieben sämtliche Pflanzen grün, doch war die Belaubung der Buche und Esche dürftig, die Blätter des Ahorn wurden im Spätsommer etwas braunspitzig und fleckig, eine Erscheinung, die zwar die Vergleichspflanzen in gutem Boden auch, doch nicht in dem Maße zeigten."

Im folgenden Jahre am 15. August war der folgende Abgang an Pflanzen festzustellen:

Fichte	8 %	Verlust
Kiefer	8 „	„
Ahorn	20 „	„
Buche	21 „	„
Esche	93 „	„
Eiche	0 „	„

[1]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Berlin 1883. S. 316 ff.

„Die Eiche sah kräftig und gesund aus und gab den Vergleichspflanzen gleichen Alters auf gutem Boden nicht viel nach; auch Kiefer und Fichte, wie die Eiche wohl im Höhenwachstum etwas zurückgeblieben, zeigten äußerlich normale Entwicklung. Die Eschen hingegen waren fast alle abgestorben und hatten die lebenden, wie die Ahorne und Buchen, ein kümmerndes kränkliches Aussehen; die Blätter waren klein und wenig frisch; Triebe hatten sie nicht gemacht und ließen weiteren Abgang vermuten."

Im August 1882 betrug der Verlust an Exemplaren:

für	Esche	100 %
„	Ahorn	92 „
„	Buche	72 „
„	Fichte	8 „
„	Kiefer	8 „
„	Eiche	0 „

„Fichten und Kiefern, noch im Höhenwuchs etwas zurückgeblieben, zeigten normale Ausbildung der Blattorgane und Jahrestriebe; die Eiche, welche seit Jahresfrist mit ihren Pfahlwurzeln die Rauchbodenschicht überall durchbrochen, hat sich seitdem so üppig entwickelt, daß sie den Vergleichspflanzen auf gutem Boden nur noch wenig nachgibt. Auch einzelne Buchen haben im Laufe des Jahres 1881 ihre Pfahlwurzel durch den Hüttenrauchboden hindurch in gute Erde gesenkt und infolgedessen in diesem Jahre 0,3 m lange Triebe geschoben. Von den 12 noch lebenden Ahorn haben einige in der Nähe des Beetrandes stehende kräftige Seitenwurzeln in den Nachbarboden getrieben, und hat sich dadurch gleichzeitig, korrespondierend mit dem im guten Boden eingenommenen Wurzelraum, ihre Vegetation außerordentlich belebt. Die im Beete noch lebend stehenden Buchen und Ahorn, welche die Rauchbodenschicht nicht durchbrochen haben, sind außerordentlich kümmerlich, und ist an ihren Wurzeln nicht das geringste Wachstum wahrnehmbar. Es war auffallend, daß diese Buchen keinerlei Ansatz zu einer Pfahlwurzel zeigen, während die gutwüchsigen den Rauchboden mit einer solchen durchdrungen hatten, welche die Ernährung aus rauchfreier Erde ermöglichte und ohne Zweifel die plötzliche Hebung des Wachstums veranlaßt hatte." Wenn sich die Fichten und Kiefern nach obiger Darstellung scheinbar ganz normal entwickelt haben, so ist es doch tatsächlich nicht der Fall gewesen, da das Wurzelsystem, namentlich bei der Kiefer, sehr auffallend gestaltet war: „Von dem Wurzelknoten gehen fast senkrecht 15—20 cm in die Tiefe 21 ziemlich gleich lange und gleich starke Wurzelstränge, die an der Basis dünn, nach der Spitze zu dicker werden. Diese Wurzelstränge sind zweizeilig, mit kurzen dicken, kaum $^1/_2$—1 cm langen Saugwurzeln bedeckt, welche

in Gruppen stehend, einem Klammerwurzelbündel des Epheus gleichen. Ähnlich ist das Wurzelgebilde der Fichten, nur ihrem Wuchse entsprechend mehr horizontal gestreckt. Solche Wurzelbildung, die wir auch zum öfteren bei Pflanzen gefunden haben, welche in sehr armen Böden vegetierten, deutet darauf hin, daß die Pflanze große Anstrengungen zu ihrer Ernährung zu machen gezwungen ist."

So viel ich weiß, sind diese Reuß'schen Versuche die einzigen mit Boden von Rauchblößen ausgeführten Versuche, welche in der Literatur beschrieben worden sind. Ich habe sie eingehender mitgeteilt, weil sie außerordentlich lehrreich sind, wenn sie auch hinsichtlich der Ursache nicht zu einem entscheidenden Resultat führen. Am wenigsten leiden die Eichen, von denen nicht ein einziges Exemplar eingegangen ist, am schwersten hingegen werden Eschen, Ahorn und Buchen betroffen, denen die Bodenbeschaffenheit unverkennbar gar nicht zusagt. Die Fichten und Kiefern wissen sich einigermaßen mit dem Boden abzufinden und haben nur einen Verlust von 8 % aufzuweisen. Die schlechten Kulturergebnisse auf dem Rauchboden sind nach Reuß eine Folge hochgradiger Verarmung des Bodens.

„Diese hochgradige Bodenarmut", äußert er sich, „welche den begehrlichen Holzarten die nötige Nahrung nicht mehr zu bieten vermag, läßt sich indessen nicht allein aus der mehr oder weniger langen Freilage erklären, der Einfluß des Hüttenrauches, d. h. speziell der Einfluß seiner Flugstaubbestandteile könnte hier mitgewirkt haben. Die Akten über dies Kapitel sind jedenfalls noch nicht vollständig geschlossen, und mag es späteren Forschungen vorbehalten bleiben, die Ursache der intensiven Bodenverarmung zu suchen." Man kann Reuß nur zustimmen, daß die Akten nicht geschlossen sind; ja es ist höchste Zeit, sich wieder in dieselben zu versenken, worauf ich schon vor einigen Jahren hingewiesen habe[1]). Man muß sich billig wundern, daß etwa zwei Dezennien lang diesem Punkte keine Aufmerksamkeit geschenkt worden ist. Wenn Reuß auf Flugbestandteile des Hüttenrauches hingewiesen hat, so lag es nahe, für den Boden des Clausthaler Rauchschadengebietes an Blei zu denken, welches sich dort in verhältnismäßig großer Menge findet und vielleicht eine Vergiftung bewirkt haben könnte. Aber v. Schroeder und Reuß selbst haben diese Möglichkeit schon abgewiesen. Und mir scheint auch, daß eine Bleivergiftung als vollständig ausgeschlossen gelten kann. Es erübrigt dann nur, eine Beziehung zwischen den sauren Gasen und der Verarmung des Bodens anzunehmen. In dem Vorhandensein der Rauch-

[1]) Wenig beachtete Rauchbeschädigungen. — Jahresbericht der Vereinigung der Vertreter der angewandten Botanik. 1. Jahrg. 1903. Berlin 1904.

blößen um die hohen und alten Bäume herum haben wir die beste Stütze für diese Auffassung; denn sie treten auch auf, wo feste Flugstaubbestandteile ausgeschlossen sind. Und so wie hier die Rauchblößen entstanden und beschaffen sind, müssen auch die Rauchblößen in der Nähe der Rauchquellen entstanden und beschaffen sein. Die Ursache der Vegetationslosigkeit wird in beiden Fällen die gleiche sein.

Die Kronen, namentlich bei Laubbäumen, haben bei älteren Bäumen einen beträchtlichen Umfang; die gesamte Regenmasse, welche auf die Krone fällt, läuft an den Zweigen und Ästen entlang und fließt schließlich als ein kleiner Strom am Stamm entlang dem umgebenden Erdreich zu. Mit dem Regenwasser gelangt die Säure in den Boden und zwar in verhältnismäßig großer Menge, da die Säure aus einem großen Luftareal auf eine kleine Bodenmenge verteilt wird. Dieser Umstand allein kann schon erklären, warum die Vegetation unter der Traufe mehr leidet, als außerhalb derselben.

Auch Tau und Nebel müssen die Zufuhr von Säure zum Boden um den Baum herum begünstigen. Hasenclever[1]) rechnet sogar mit der Möglichkeit, daß sich die sauren Gase innerhalb des Baumes zu flüssiger Säure kondensieren. „Der Strauch mit seinen Zweigen wirkt da wie ein mit Koke oder Tonstücken ausgesetzter Kondensationsturm.“ Es gibt also mehrere Möglichkeiten, auf welche Säure in gelöster Form auf den Erdboden um die Bäume herum gelangen kann. Wesentlich dabei ist eben, daß durch die Organisation der Bäume dafür gesorgt ist, daß gerade unter ihnen mehr Säure auf den Boden gelangt als an benachbarten baumfreien Stellen. Fest steht ferner, daß an solchen Stellen die Vegetation vernichtet und daß der Boden ungeeignet wird zur Hervorbringung neuer Gewächse. Hieraus ergibt sich aber auch für den Baum eine unabweisliche Folgerung, nämlich, daß er unter diesen Verhältnissen ebenso leiden muß wie die Pflanzen, welche unter seiner Krone wuchsen, oder vielleicht noch richtiger ausgedrückt, daß ein Baum unter der Einwirkung der Rauchblößen der benachbarten Bäume leiden muß. In diesen verbreiten sich seine Wurzeln und ebenso, wie andere Pflanzen hier nicht fortkommen können, werden auch die Baumwurzeln nicht gedeihen. Dadurch muß aber der Baum leiden und kränkeln. Die Rauchblößen um die Bäume herum bilden sich natürlich nicht plötzlich, sondern ganz allmählich; wir dürfen ähnliche Verhältnisse deshalb auch am Fuße von Bäumen, die der Einwirkung von Rauch ausgesetzt sind, wo noch keine Rauchblößen vorhanden sind, erwarten. Also dieselbe Erscheinung nur in geringerem Grade. Streng

[1]) Über Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. Chemische Industrie 1895, Sonderabdruck S. 12.

genommen fehlen die Rauchblößen auch nicht bei den Fichten; denn die Anhäufung der unzersetzten Nadeln um ihren Fuß herum läßt irgend eine Vegetation nicht aufkommen und ist gewiß auf die Vergiftung des Bodens zurückzuführen.

Diese Rauchblößen bieten uns nun eine gute Handhabe zur Beurteilung der Rauchblößen in der Nachbarschaft von Hütten und bestätigen die Ansicht von Reuß, daß die von ihm ermittelte Verarmung des Bodens nicht nur auf die lange Freilage zurückzuführen ist. Solange diese Rauchblößen mit Wald bestanden waren, muß der Boden durch die Säure, welche sich in den Kronen fing und am Stamm hinabfloß, ebenso ungünstig beeinflußt worden sein, wie es heute noch bei den Rauchblößen unter der Traufe der Fall ist, nur daß der Vorgang sich infolge der größeren die Bäume treffenden Konzentration schneller abspielte. Die Vegetation unter diesen Bäumen, zum Teil auch die Bäume selbst, müssen durch die Säure, welche auf den Boden gelangte, zerstört worden sein. Als dann die Bäume verschwanden, wahrscheinlich vernichtet durch die direkte Beeinflussung der Blattorgane durch die Säure und durch die indirekte der Bodenverschlechterung, blieb das Terrain doch fortgesetzt der Einwirkung der Säure offen. Vermöge ihrer spez. Schwere muß sie auf die Erde fallen; sie wird ferner durch Nebel und Regen dahin gelangen und zwar in allen Fällen in verhältnismäßig großer Menge, da die Rauchblößen den Rauchquellen unmittelbar benachbart sind. Die Verschlechterung des Bodens hat hier nicht erst begonnen, als der Wald abgestorben war, sondern schon vorher, als er noch stand, und diese Verschlechterung muß zu seinem Untergange mitgewirkt haben; denn ist sie schuld, daß die Vegetation unter der Traufe in beträchtlicher Entfernung von der Rauchquelle vernichtet wird, so muß es in viel höherem Maße in der Nähe der Rauchquelle der Fall gewesen sein.

Die Verschlechterung des Bodens in den Rauchblößen ist nicht nur eine Tatsache, sondern ist auch eine notwendige Folge der Einwirkung der Säure auf den Boden. Es erhebt sich hier nun die Frage, wie die sauren Gase die Verschlechterung des Bodens und eventuell das Absterben der Gewächse bewirken. Handelt es sich dabei um eine wirkliche Vergiftung des Bodens durch die Säure, welche in ihn eindringt, oder werden nur indirekt durch das Eindringen der Säure die Verhältnisse so verändert, daß sie den Pflanzen nicht mehr zusagen?

Infolge der leichten Oxydierbarkeit der schwefligen Säure gelangen gleichzeitig schweflige Säure und Schwefelsäure auf den Erdboden. Es ist die herrschende Ansicht, daß erstere sich im Boden so schnell oxydiert, daß sie als solche nicht zur Wirkung kommt, auch im Erdboden nicht nachweisbar ist. Diese Ansicht ist aber nicht ganz zutreffend. Nach der-

selben Methode (s. S. 4), wie die schweflige Säure in den Blattorganen nachgewiesen wurde, läßt sie sich auch im Erdboden nachweisen. Die durch Destillation freigewordene schweflige Säure wird in Jodlösung aufgefangen und als schwefelsaurer Baryt bestimmt.

1. 300 g Erde von einer noch bewachsenen Bodenpartie in der Nähe der Clausthaler Silberhütte lieferten 0,27 mg SO_2. Die Erde enthielt 7,1% organische Substanz.

2. 150 g Erde, unter einem Randbaum der kleinen Probstey entnommen, lieferten 0,4 mg SO_2, sowohl in der oberflächlichen Partie als in einer Tiefe von 30 cm. Die organische Substanz der Erde betrug 8,45 bis 9,55%.

3. 150 g Erde, unter einem hohen Baum aus der großen Probstey bei Stolberg in der Entfernung von etwa 3,5 km von der Rauchquelle entnommen, lieferten oberflächlich wie aus einer Tiefe von 30 cm je 0,6 mg SO_2. Der Gehalt an organischer Substanz betrug 9,75 bis 14,5%.

4. 300 g Erde, von der Rauchblöße bei der Hütte Birkengang im Eschweilerer Walde entnommen, lieferten 0,8 mg SO_2. Der Gehalt an organischer Substanz betrug 8,96%.

Die Menge der organischen Substanz wurde durch Verbrennen ermittelt. An sie ist natürlich die schweflige Säure gebunden, ebenso wie sie sich in den Blattorganen den organischen Verbindungen anlagert. Ebenso enthalten auch die unzersetzten Fichtennadeln aus dem Clausthaler Rauchschadengebiet schweflige Säure. Von den trockenen Nadeln, so wie sie mir zugeschickt wurden, wurden zwei Proben zu je 150 g untersucht. Die eine lieferte 0,7 mg, die andere 0,4 mg SO_2. Hier muß es natürlich zweifelhaft bleiben, ob der Gehalt an SO_2 nicht schon ganz oder teilweise in den Nadeln vorhanden war, als sie abfielen. Selbst wenn man in den obigen Erdproben alle schweflige Säure auf die organische Substanz bezieht, ist der Gehalt doch nur ein äußerst geringer. Aber er beweist, daß die schweflige Säure sich eine Zeitlang als freie Säure halten muß, da die beiden Bestimmungen aus 2 und 3 in einer Tiefe von 30 cm den gleichen Gehalt an SO_2 aufwiesen wie oberflächlich, die Säure also doch diese Strecke von 30 cm passiert haben muß. Welche Wirkungen diese freie Säure auf alle Organismen, mit denen sie zusammenkommt, ausübt, entzieht sich unserer genauen Kenntnis. Wenn nun auch diese Menge sehr gering ist, so darf doch nicht vergessen werden, daß beständig durch die verschiedensten Ursachen in den Rauchschadengebieten kleine Säuremengen auf den Boden gelangen. Werden diese kleine Mengen oxydiert oder durch organische Verbindungen gebunden, so finden sich immer wieder von neuem kleine Mengen dieser Säure ein. Daß übrigens die Oxydation der schwefligen Säure gar nicht so schnell vor sich geht, wie meistens ange-

nommen wird, ergibt sich aus einem Versuch von Freytag[1]), den ich nach Haselhoff und Lindau zitiere. »50 g Ackererde wurden mit 500 ccm einer Lösung geschüttelt, welche in einem Kubikzentimeter 0,00082 g schweflige Säure enthielt; nach 5 Minuten waren bereits 35% der vorhanden gewesenen schwefligen Säure verschwunden, nach einer Stunde 70% und nach drei Stunden war die schweflige Säure vollständig in Schwefelsäure übergeführt«[2]). Wenn wir dieses Verhältnis als Norm ansehn, da wir nicht wissen, wie schnell die Oxydation im Boden vor sich geht, so müssen wir zu dem Schluß kommen, daß beständig etwas freie schweflige Säure im Boden vorhanden sein muß, da ja beständig neue Mengen demselben zugeführt werden. Zeitweilig bei Zufuhr größerer Mengen wird auch die Oxydation langsamer verlaufen, es wird dann etwas mehr freie Säure im Boden vorhanden sein. Entsprechend dem Gehalt der Luft an freier schwefliger Säure müßte im Boden des Rauchschadengebietes, wenigstens an bestimmten Stellen, immer etwas freie schweflige Säure vorhanden sein. Und ebenso wie die Blattorgane diese Säure aus der Luft aufnehmen und gleichsam speichern, ebenso muß es mit den Organismen sein, welche im Boden mit dieser Säure in Berührung kommen. Die Organismen sind teils tierischer, teils pflanzlicher Natur. Von letzteren kommen Bakterien, niedere Pilze, Fadenpilze, die Wurzeln der hier wachsenden Pflanzen und unter ihnen eventuell auch die der betreffenden Bäume in Betracht. Da die schweflige Säure bis zu 30 cm Tiefe nachweisbar war — vielleicht kommt sie noch tiefer vor, nur daß keine Prüfung vorgenommen worden ist — so können sogar die Wurzeln der meisten Bäume getroffen werden. Alle diese pflanzlichen Organismen können die schweflige Säure nach ihrer spezifischen Natur mehr oder weniger speichern in analoger Weise wie die Zellen der Blattorgane, es wird voraussichtlich von ihrer Empfindlichkeit und der Menge der vorhandenen schwefligen Säure abhängen, ob sie Schaden nehmen. Sollte das z. B. auf die Baumwurzeln zutreffen, so würden sie wohl selbst unter der Säure leiden, aber eine Leitung derselben nach den oberirdischen Organen ist sicher ausgeschlossen.

Mit der Zersetzung der Humusstoffe muß eventuell auch die an sie gebundene schweflige Säure wieder frei werden und auf die Organismen einwirken.

Demnach muß mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß die Organismen im Boden auch durch schweflige Säure leiden können. Wenn

---

[1]) Mitt. d. Landw. Akad. Poppelsdorf, 1869, 234 u. Thar. forstl. Jahrb. 1872, 22, 185.

[2]) Haselhoff u. Lindau, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch, Leipzig 1903. S. 41.

ich nun auch der Ansicht bin, daß diese Gefahr nicht sehr groß ist, so kann man weder dafür noch dagegen einen Beweis erbringen. Auch dürfte es sehr schwierig, wenn nicht gar unausführbar sein, diese Frage experimentell zu entscheiden und es erscheinen mir auch die Untersuchungen von Haselhoff und Gössel[1]), welche schweflige Säure in den Boden einleiteten, lange vordem die Pflanzen in denselben ausgesäet wurden, nicht beweiskräftig zu sein. Es sind eben hier wie bei der ganzen Frage nach der Beteiligung des Bodens an den Rauchbeschädigungen die stetig wirkenden kleinen Mengen Säure außer acht gelassen worden.

Noch auffallender tritt das hervor bei den kleinen dauernd wirkenden Mengen Schwefelsäure, welche geradezu als ein bodenzerstörender Faktor angesehen werden müssen. Indem man sich von rein chemischen Auffassungen leiten ließ, glaubte man, sie unbeachtet lassen zu können, weil sie sich mit den Basen im Boden verbinden. An solchen Basen soll aber kein Mangel sein, da sich niemals freie Schwefelsäure im Boden nachweisen ließ. Sind sie in den oberen Schichten erschöpft, wird die Schwefelsäure in die tieferen Erdschichten geführt, um hier durch die Basen gebunden zu werden. Diese Möglichkeit fassen auch Haselhoff und Lindau ins Auge, nehmen aber überraschenderweise keinen Anstoß daran und geben der ganzen Betrachtung keine weitere Folge. Sie äußern sich über diesen Punkt auf S. 42 folgendermaßen: »Sind die mit der schwefligen Säure bezw. Schwefelsäure umsetzungsfähigen Bodenbestandteile in der oberen Ackerkrume verbraucht, so finden die Umsetzungen in den tieferen Schichten des Bodens statt, wohin die Schwefelsäure durch das Bodenwasser geführt wird. Mit den Rauchgasen können sehr große Mengen schweflige Säure bezw. Schwefelsäure in einen Boden gelangen.«

Für die Schwefelsäure könnte man in der Hauptsache wiederholen, was für die schweflige Säure ausgeführt wurde, daß längere oder kürzere Zeiträume hindurch freie Säure im Boden sein muß, wenn die Analyse sie auch nicht zu fassen vermag. Jede Reaktion verlangt Zeit; mit dem Eindringen der Säure ist sie nicht sofort abgestumpft; und wenn sie gar erst im Untergrund die erforderlichen Basen antrifft, muß sie längere Zeit als freie Säure im Boden verweilen. Hierzu kommt, daß die Säure nicht nur mit dem Regenwasser in den Boden gelangt, sondern daß sie auch als Gas darauf fällt; dann wird es von den Feuchtigkeitsverhältnissen im Boden abhängen, ob die Säure schnell oder langsam in den Untergrund eindringt.

Auf dem Wege zu der Base, die sie neutralisieren soll, kann die

---

[1]) Über die Einwirkung von schwefliger Säure, Zinkoxyd, Zinksulfat auf Boden und Pflanzen. — Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten, XIV. Bd.,

Säure aber auf allerlei Organismen pflanzlicher oder tierischer Natur stoßen und auf sie eine Wirkung ausüben. Das muß in um so höherem Maße der Fall sein, wenn die Säure mit dem Regen aus den Baumkronen in größerer Menge auf den Boden gelangt. Der Gehalt des Regenwassers an Säure unterliegt natürlich sehr großen Schwankungen, kann unter Umständen aber sehr hoch sein. Bei Haumont[1]) wurden 1874 in einem Liter Regenwasser bei einer Entfernung von 530—1550 m von dem Kamin der chemischen Fabrik 0,0250—0,0192 g Schwefelsäure und 0,0304 bis 0,0159 g Salzsäure nachgewiesen. Berechnet man zur Ermittlung der Gesamtsäurewirkung die Salzsäure, welche in demselben Sinne schädlich wirken muß wie die Schwefelsäure, auf Schwefelsäure, so würde ein Liter Regenwasser 0,0374 bis 0,0597 g Säure enthalten haben, was einer Konzentration von 1 : 27000 bis 1 : 16700 entsprechen würde. Auch der Schnee kann bedeutende Säurekonzentrationen bilden. Wenn 1 kg Schnee in München nach den Untersuchungen von Sendtner[2]) 91 mg Schwefelsäure enthielt, so lieferte er beim Schmelzen eine Schwefelsäurelösung von 1 : 11000. Es handelt sich also hier um Konzentrationen, welche dem pflanzlichen, vielleicht auch dem tierischen Leben verhängnisvoll werden können. Nach Treboux[3]) stirbt Elodea canadensis in Wasser, welches 0,0098 % Schwefelsäure enthielt, ab, während sie in einer Lösung von 0,00098 % lebendig bleibt. Man muß also mit der Möglichkeit rechnen, daß durch freie Schwefelsäure sowohl Mikroorganismen als auch die Wurzeln der höheren Pflanzen getötet werden können. Da erstere sich an der Zersetzung der organischen Stoffe im Boden beteiligen, denn die Umbildung derselben zu Humusstoffen ist nicht ein rein chemischer, sondern ein komplizierter biologischer Vorgang, so muß diese Zersetzung anormal verlaufen, wenn die Mikroorganismen ganz oder zum Teil durch die freie Schwefelsäure zerstört werden. Wie sich dieser biologische Vorgang im einzelnen vollzieht, ist beim Waldboden noch nicht näher erforscht worden, doch geht aus den Untersuchungen von P. E. Müller[4]) unzweifelhaft hervor, daß seine Beschaffenheit wechselt mit dem Wechsel der in ihm lebenden Organismen. Wenn unsere Annahme richtig ist, so müssen die Fauna und Flora der beräucherten Böden eine andere als die der normalen Waldböden sein, indem sich hier nur die Organismen entwickeln können, welche unter dem Einfluß der Säure nicht leiden. Unzweifelhaft würde

---

[1]) Haselhoff und Lindau l. c. S. 42.

[2]) Schweflige Säure und Schwefelsäure im Schnee. Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt 1887.

[3]) Flora 92. Bd. 1902, S. 70.

[4]) Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden. Berlin 1887.

eine eingehende Untersuchung der Böden unter diesem Gesichtspunkte sehr interessante Aufschlüsse zu Tage fördern.

Aber dieser Einfluß der Säure auf die im Boden befindlichen Organismen ist nicht der einzige. Und selbst wenn dieser hier vorausgesetzte Einfluß nicht existieren sollte, so bleibt immer noch der rein chemische übrig. Die vorhandenen Basen werden gebunden und werden als schwefelsaure Verbindungen aus dem Boden durch das Regenwasser ausgewaschen, wie die Beobachtung von Schroeder dartut, daß der Gehalt solcher Böden an Schwefelsäure nicht zunimmt. Auf diese Weise werden dem Boden teils Stoffe entzogen, die der Vegetation als Nährstoffe dienen, teils Basen weggeführt, welche sonst von den bei der Zersetzung des Bodens entstehenden Humussäuren gebunden werden. Wenn auf diese Weise die Zersetzungsvorgänge im Boden sich mit der Zeit mehr und mehr ändern, so können sie ihre Wirkung auf die Organismenwelt, welche den Humus bevölkert, nicht verfehlen. Auch sie wird sich mit der Zeit ändern, was wiederum den Zersetzungsvorgang der organischen Stoffe beeinflussen muß. Indem nun alle diese Vorgänge ineinander greifen und nebeneinander hergehen, muß sich die Beschaffenheit des Bodens ändern und vielleicht viel schneller, als man anzunehmen geneigt ist.

Mit der Möglichkeit, daß mit Schwefelsäure umsetzungsfähige Bodenbestandteile in der oberen Ackerkrume verbraucht sind, rechnen auch Haselhoff und Lindau[1]), ziehen aber daraus nicht den Schluß, daß alsdann die Zersetzung der organischen Stoffe, welche doch ausschließlich in der oberen Bodenschicht vor sich geht, ganz anders verlaufen muß als im normalen Waldboden, und daß unter einer Beraubung dieser Schicht an wichtigen Nährstoffen auch die auf diesem Boden lebende Vegetation leiden muß. Da Haselhoff und Lindau diese Schlußfolgerung nicht gezogen haben, kann ich mir nur denken, daß sie die Verwirklichung ihrer Prämisse für ausgeschlossen gehalten haben, daß sie also stets überall in der oberen Bodenschicht einen ausreichenden Überschuß an Basen voraussetzen. Wenn sich nun herausstellen sollte, daß diese Annahme durchaus nicht immer zutrifft, daß sogar vielfach ein Mangel an Basen in der oberen Erdschicht vorhanden ist, so würden sich daraus alle die oben entwickelten Konsequenzen ergeben, und es müßte sogar gefordert werden, daß die auf diesem Boden lebende Vegetation, namentlich die anspruchsvolleren Bäume, unter dem starken Nährstoffentzug leiden. Es läßt sich nun in der Tat zeigen, daß vielfach — ob immer, müssen weitere Untersuchungen zeigen — in Böden beräucherter Wälder ein Mangel an Basen eingetreten ist.

---

[1]) l. c. S. 42.

Die Rauchblößen in der Nähe von Hütten und um hohe Bäume herum beweisen unwiderleglich, daß der Boden, wo er unter Einfluß von Hüttenrauch steht, verschlechtert, oder wie ich[1]) es früher ausgedrückt habe, vergiftet wird. Der nächstliegendste Gedanke war, die schweflige Säure auch hierfür verantwortlich zu machen. Wenn sich nun auch, wie ich oben mitgeteilt habe, die Gegenwart schwefliger Säure nachweisen läßt, so ist doch die Menge derselben so gering, daß man nicht geneigt sein wird, diese Säure für die Vergiftung verantwortlich zu machen. Sie muß eine andere Ursache haben. Obgleich man bisher keine freie Schwefelsäure in den beräucherten Böden gefunden hat, so schien es mir doch angezeigt, auch meine Bodenproben daraufhin zu untersuchen. Wie die Prüfung ergab, reagierten sie alle sauer, aber diese Reaktion rührte nicht von Schwefelsäure her, sondern von Humussäure, wie hier gleich vorweg bemerkt sein mag. Wenn der wässerige Auszug eines humosen Bodens gegen Lackmuspapier deutlich sauer reagiert, ohne daß sich Schwefelsäure durch Baryumchlorid nachweisen läßt, so wird die Säure auf humose Substanz zurückgeführt[2]). Ich habe deshalb die Böden auf ihren Gehalt an Humussäure geprüft. Tacke[3]) hat eine Methode zur quantitativen Bestimmung derselben angegeben. Sie beruht darauf, daß der aufgeschlämmte Boden mit kohlensaurem Kalk versetzt und die entweichende Kohlensäure in $^1/_{10}$-Normalnatronlauge aufgefangen, die Kohlensäure durch Chlorbaryum ausgefällt und die Natronlauge mit $^1/_{10}$-Normalsalzsäure zurücktitriert wird. Im wesentlichen bin ich dieser Methode gefolgt mit einigen Abweichungen in Nebendingen, wie sie meine Einrichtungen bedingten.

Ich habe für die Bestimmungen den Pettenkofer-Pfeffer'schen Atmungsapparat[4]) benutzt und habe die entweichende Kohlensäure in titrierter Barytlösung wie bei Atmungsversuchen aufgefangen. Die Erde wurde in ein Kölbchen gefüllt und dies so mit den Absorptionsröhren der Atmungsapparate in Verbindung gesetzt, daß die Kohlensäure beliebig in die eine oder andere Absorptionsröhre geleitet werden konnte. Wie bei Tacke wurde die Kohlensäure durch einen Wasserstoffstrom ausgetrieben, nachdem das Gas durch je eine Waschflasche mit konzentrierter Schwefelsäure und Kalilauge zur Reinigung gestrichen war. Durch Einschaltung eines kleinen Gefäßes mit Barytlauge hinter den Absorptionsröhren wurde fest-

---

[1]) Wenig beachtete Rauchbeschädigungen. Jahresbericht der Vereinigung der angewandten Botanik. 1. Jahrg. 1903. Berlin 1903.

[2]) Wahnschaffe, Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung. Berlin 1903. 2. Aufl. S. 145.

[3]) Chem. Zeitung 1897 S. 174. Zitiert nach Wahnschaffe l. c. S. 117.

[4]) Pfeffer, W., Über intramolekulare Atmung. Unters. aus dem Bot. Inst. zu Tübingen. Bd. 1, 1885, S. 637.

gestellt, daß alle Kohlensäure in diesen absorbiert wurde. Unter gelegentlichem Umschütteln des die Erde enthaltenden Gefäßes, nachdem das kohlensaure Kalzium zugesetzt worden war, wurde so lange Wasserstoff durchgeleitet, bis keine Kohlensäure mehr zu absorbieren war. Das Karbonat wurde erst zu der Erde hinzugefügt, nachdem alle etwa vorhandene Kohlensäure aus dem Apparat durch den Wasserstoff verdrängt worden war. Die Bestimmung der Kohlensäure geschah nach der in der Pflanzenphysiologie üblichen Methode mit Oxalsäure und Phenolphthaleïn als Indikator. Die Differenz zwischen der Titration vor und nach dem Versuche gab die Menge der durch die Lauge absorbierten Menge Kohlensäure.

Nachdem die ersten Proben, welche dem Rauchschadengebiet bei Stolberg entnommen wurden, bedeutende Mengen Humussäure ergeben hatten, habe ich Erdproben aus verschiedenen Rauchschadengebieten in der angegebenen Weise untersucht.

Eschweilerer Wald bei Stolberg: Je eine Probe oberflächlich und aus der Tiefe von 30 cm, entnommen von einer kahlen Stelle zwischen den ersten Eichengebüschen von der Hütte Birkengang aus gerechnet.

Kleine Probstey: Je eine Probe oberflächlich und aus der Tiefe von 30 cm entnommen, etwa an der Stelle, wo Falter- und Tiefenbachschneise zusammenstoßen, d. h. in einer Entfernung von 1,5 Kilometer von der Rauchquelle. Der Boden trägt noch Vegetation. Die Proben sind in der Nähe eines höheren Baumes entnommen.

Große Probstey bei Stolberg (31), nicht weit von der Stelle, wo Tiefenbach- und Fuchsheckschneise zusammenstoßen, etwa in einer Entfernung von 2,4 Kilometern von der Rauchquelle. Die Probe wurde oberflächlich unter einem hohen Baum entnommen, der Boden war noch mit Vegetation bestanden.

Rauchschadengebiet bei der Clausthaler Silberhütte, etwa 600 m westlich von der Hütte von einer Stelle, wo absolut kein Holz mehr wächst und alle Versuche mit verschiedenen Laub- und Nadelhölzern vollständig erfolglos geblieben sind. Eine Grasnarbe ist noch vorhanden. Die eine Probe wurde unmittelbar unter der Grasnarbe, die andere aus einer Tiefe von 30 cm entnommen.

Barmer Rauchschadengebiet: Je eine Probe oberflächlich und aus der Tiefe von 30 cm entnommen aus dem Teil des Gebietes, wo die Buchen vorzeitige Herbstverfärbung aufweisen.

Rauchschadengebiet bei Kattowitz: Es wurden hier oberflächliche Proben entnommen und zwar im Südpark und den Jagen 22, 12 und 18. Auf die Kunigundenhütte als Rauchquelle bezogen, betragen die Entfernungen 4, 1, 4 und 5 km. Der Südpark dürfte außerdem noch unter der Einwirkung einer benachbarten Ziegelei stehen.

In der lufttrocknen Erde wurde der Wassergehalt und der Gehalt an organischer Materie bestimmt. Letztere wurde durch Verbrennen ermittelt, indem der Gewichtsverlust, vermindert um den Wassergehalt, als organische Materie angenommen wurde. Die hierbei möglicherweise unterlaufenden Fehler dürften nur gering sein, so daß sie für unsere Zwecke vernachlässigt werden können. Zur Bestimmung der Humussäure wurden jedesmal 10 g der lufttrocknen Erde genommen. Bei einzelnen Proben sind zwei und mehr Bestimmungen ausgeführt worden, aus denen dann das Mittel genommen worden ist. In der nachfolgenden Tabelle ist neben dem Wassergehalt und dem Gehalt an organischer Substanz die Menge CO_2 aufgeführt, welche 100 g Erde aus dem kohlensauren Kalk entbunden haben würden. Eine Umrechnung derselben auf Humussäure schien mir überflüssig zu sein, da die Zusammensetzung derselben noch nicht befriedigend aufgeklärt ist. Jedenfalls ist das Molekulargewicht der Säure aber ein sehr hohes, so daß aus meinen Zahlen, wenn man sie auf die nebenstehende Menge organischer Materie bezieht, hervorgeht, daß in allen Proben ein hoher Gehalt an Humussäure vorhanden ist. In der letzten Rubrik der Tabelle habe ich, um den Vergleich zu erleichtern, die Menge CO_2 aufgeführt, welche bei den einzelnen Proben 100 g organische Substanz liefern würden.

	100 g lufttrockne Erde			100 g organ. Substanz liefern CO_2 mg
	enthalten organ. Substanz g	liefern CO_2 mg	enthalten Wasser g	
Eschweilerer Wald oberflächlich	10,2	120	19,9	1176
„ „ 30 cm tief	7,8	115	15,1	1474
Kleine Probstey oberflächlich	8,45	78	7,2	923
„ „ 30 cm tief	9,55	68	8,2	712
Große Probstey oberflächlich	8,15	74	25,9	908
Clausthaler Silberhütte oberflächlich . .	9,4	115	27,4	1223
„ „ 30 cm tief . . .	10,2	115	25,3	1127
Barmer Rauchschadengebiet oberflächlich	10,25	142	25	1385
„ „ 30 cm tief .	6,85	40	17,1	584
Kattowitz Südpark	2,45	54	12,1	2204
„ Jagen 22	2,78	76	9,35	2734
„ „ 12	2,65	45	8,85	1698
„ „ 8	2,95	54	14,1	1892

Alle aus sehr verschiedenen Rauchschadengebieten entnommenen Erdproben, mögen sie nun von der Oberfläche oder auch aus einer Tiefe von 30 cm stammen, enthalten große Mengen Humussäure. Es fehlt diesen Böden also an Kalk, um die entstehende Humussäure zu binden. Wie

tief in den Untergrund sich dieser Kalkmangel erstreckt, kann natürlich nur durch eine entsprechende Untersuchung festgestellt werden. So ist denn das Vorhandensein der Humussäure ein sicheres Anzeichen dafür, daß sich die Beschaffenheit des Erdbodens verändert hat, und daß die Umsetzungen, welche sich in ihm abspielen, jetzt anders verlaufen müssen, als normal ist.

In chemischer Beziehung beweist das Auftreten der freien Humussäure, daß alle die Basen, mit denen sie unlösliche Verbindungen eingehen kann, aus dem Boden verschwunden sind, also vor allen Dingen Kalk, Magnesia und Eisen. Damit hat sich aber auch das Absorptionsvermögen des Bodens für andere anorganische Nährstoffe, welche aus der Zersetzung der auf den Boden fallenden Pflanzenteile herrühren, verschlechtert, so daß sie, welche normalerweise im Boden festgehalten werden, in den Untergrund geführt werden. Diesen Prozeß begünstigt die Humussäure noch direkt, indem sie mit Alkalien lösliche Verbindungen eingeht, welche gleichfalls in den Untergrund geführt werden. Durch den Mangel an Kalk wird die Zersetzung der Humusstoffe erschwert[1]), und der in ihnen eingeschlossene Stickstoff bleibt den Pflanzen unzugänglich. Es muß also in einem solchen Boden auch ein Mangel an disponiblem Stickstoff herrschen.

Mit diesen chemischen Veränderungen im Boden müssen biologische Hand in Hand gehen. Daß die Zersetzung der auf den Boden fallenden Pflanzenteile nicht ein rein chemischer Prozeß, sondern das Werk von Organismen ist, steht heute fest. Sollten aber diese Organismen in gewohnter Weise ihre Schuldigkeit tun, wenn sich die Beschaffenheit des Bodens so erheblich verändert, wie wir gesehen haben, ohne daß auch diese mitbetroffen werden? Sollte nicht der saure Charakter, den der Boden angenommen hat, schon ausreichend sein, einen Teil der normalerweise im Boden tätigen Mikroorganismen an ihrer normalen Entwicklung zu hindern? Die Bakterien beispielsweise lieben im allgemeinen kein saures Substrat, und es ist nicht anzunehmen, daß sie, wenn sie normalerweise auf einen alkalischen oder neutralen Boden angewiesen sind, plötzlich auf einem sauren Boden leben können. So weit sich das aus analogen Erscheinungen beurteilen läßt, ist die Erwägung vollständig zutreffend. Humussaure Böden haben wir in den Moorböden, und nach den Untersuchungen von Fabricius und von Feilitzen[2]) ist der Gehalt an Bakterien in ihnen sehr gering. »Der Hochmoorboden ist im natürlichen Zustande ziemlich arm an Bakterien, was mit der sauren Reaktion des Bodens zu-

[1]) Adolf Mayer, Lehrbuch der Agrikulturchemie. 4. Aufl., 1895, 2. Teil, S. 70.

[2]) Über den Gehalt an Bakterien in jungfräulichem und kultiviertem Hochmoorboden auf dem Versuchsfelde des Schwedischen Moorkulturvereins bei Flahult. Zentralbl. f. Bakter. usw., II. Abt. Bd. XIV. S. 162.

sammenhängt. Durch die Entwässerung allein wird die Bakterienflora sehr wenig beeinflußt«. Soll die Zahl der Bakterien zunehmen, so ist vor allen Dingen eine Zufuhr von Kalk erforderlich. Die von den Autoren untersuchten kultivierten Parzellen (3—5) waren außerdem mit Sand und teils mit künstlichem Dünger, teils mit Stallmist behandelt worden. In 1 g Erde enthielten diese Parzellen 6 bis 7 Millionen Keime, während die Parzellen 1 (jungfräuliches, nicht kultiviertes Hochmoor) und 2 (nicht kultivierte, vor 9 Jahren entwässerte Fläche) 138500 resp. 200300 Keime enthielten. Freie Humussäure war in allen Fällen vorhanden, aber in den Parzellen 1 und 2 erheblich mehr als in den übrigen Parzellen.

Nr. 1. 2,16 % freie Humussäure
Nr. 2. 2,32 „ „ „
Nr. 3. 0,38 „ „ „
Nr. 4. 0,28 „ „ „
Nr. 5. 0,30 „ „ „

Auf stark humussauren Böden tritt die Bakterienflora sehr erheblich zurück, während sie auf schwach saurem Boden eine ansehnliche Mächtigkeit erreichen kann. Auf einem mittelschweren Lehmboden (mit Stallmist gedüngte Brache) fanden Hiltner und Störmer[1]) im Mittel 9½ Millionen Keime. Der Unterschied zwischen einem solchen Boden und einem gedüngten Hochmoorboden ist demnach nicht sehr bedeutend. Die von uns untersuchten Böden erweisen sich nun als sehr sauer, was am deutlichsten hervortritt, wenn man die gefundene Menge Kohlensäure auf 100 g organische Substanz des Bodens bezieht. In sämtlichen Proben zusammengenommen schwankt der Gehalt zwischen 0,6 und 2,7 %. Diese Zahlen sind ohne weiteres mit den Angaben von Fabricius und von Feilitzen zu vergleichen, da die Moorböden mit Ausnahme weniger Prozente aus organischen Stoffen bestehen. Wir dürfen also mit Recht erwarten, daß in den sauren Böden aus den Rauchschadengebieten die Bakterientätigkeit erheblich herabgedrückt ist.

Nach Adolf Mayer soll saurer Humus (aus Mooren usw.) nach dem Trockenlegen oder sonst bei Luftzutritt bald seine schädlichen Eigenschaften verlieren, »offenbar weil gerade die eigentlichen Humussäuren am ersten durch Oxydation vernichtet werden«[2]). Diese Behauptung kann allgemein nicht zutreffen. Die von Fabricius und von Feilitzen untersuchte, vor 9 Jahren entwässerte Hochmoorparzelle war stark sauer (2,32 %). Die

[1]) Studien über die Bakterienflora des Ackerbodens, mit besonderer Berücksichtigung ihres Verhaltens nach einer Behandlung mit Schwefelkohlenstoff und nach Brache. — Arbeiten aus der Biologischen Abteilung für Land- und Forstwirtschaft. 1903, Bd. 3, Heft 5.

[2]) l. c. S. 68.

Rauchblöße im Eschweilerer Walde bei der Hütte Birkengang enthält soviel Humussäure, daß sie bis $1^1/_2$% Kohlensäure liefert. Der Mißerfolg der Reuß'schen Kulturen mit Boden von der Clausthaler Rauchblöße dürfte auf die Gegenwart der Humusäure zurückzuführen sein. Auch die Blöße am Eichberg[1]) oberhalb Rhomkerhalle, welcher von der im 16. Jahrhundert erwähnten Rabenhütte herrühren soll, läßt sich doch unmöglich aus einer bloßen Verarmung des Bodens wohl aber aus der Gegenwart von Humussäure erklären. Dann hätten wir hier ein weiteres Beispiel, daß die Humussäure sich unter Einwirkung der Atmosphärilien nicht leicht zersetzt. Es würde sich empfehlen, den Boden dieser Blöße einmal auf freie Humussäure zu untersuchen. Sollte sie zugegen sein, würde es vielleicht möglich sein, durch Bodenbearbeitung, Zugabe von kohlensaurem Kalk und Aussaat von krautigen Leguminosen diese Rauchblöße der Vegetation zurückzuerobern; denn die Schadenwirkung von der Altenauer Silberhütte erstreckt sich nicht mehr bis hierher.

Nach den obigen Darlegungen dürfen wir also annehmen, daß in den humussauren Böden die Bakterienflora gegenüber dem normalen Waldboden erheblich herabgedrückt ist. Zu meiner eigenen Orientierung habe ich einige wenige Bestimmungen über den Bakteriengehalt des Bodens aus der Rauchblöße bei Birkengang gemacht und zwar nach der Vorschrift von Hiltner und Störmer. Am 21. September ergab die Untersuchung 650000 bis 1000000, am 14. November 450000 Keime in 1 g Erde. Ich möchte aber auf diese Zahlen kein großes Gewicht legen, weil ich die ganze Methode für verfehlt erachte. Da es sich um Bakterien handelt, welche in einem sauren Substrat leben, so würden diese Zahlen nur angeben, wieviel auf alkalischem Boden entwicklungsfähige Keime in der Erde vorhanden sind, nicht aber, wie viele in dem betreffenden Boden zur Entwicklung gelangen. Diese Erwägungen sind der Grund gewesen, daß ich die Untersuchung bisher nicht fortgesetzt habe.

Es ist nicht wahrscheinlich, daß die Veränderung des Substrates nur auf die Bakterien einwirken sollte; auch andere pflanzliche Mikroorganismen werden dadurch beeinflußt werden. Mit dem Zurücktreten der Bakterien können sehr wohl Organismen zur Entwicklung kommen, welche unter normalen Verhältnissen unterdrückt werden, zB. Pilze. Je nachdem, welche Kategorie von Organismen im Boden die Oberhand hat, werden die Zersetzungen anders verlaufen, und wird sich damit die Bodenbeschaffenheit von der normalen immer abweichender gestalten. Diese Veränderungen können aber nicht ohne Einfluß auf die mikroskopische Fauna bleiben, welche durch eine Umgestaltung wieder umändernd auf die Flora und den Boden

[1]) Haselhoff u. Lindau l. c. S. 163.

selbst wirken wird. So fließt aus einer Ursache eine ganze Kette von Veränderungen, welche sich gegenseitig bedingen und wieder aufeinander zurückwirken. Eine nähere Einsicht in diese Verhältnisse haben wir leider nicht; sie lassen sich deshalb nur von allgemeinen Gesichtspunkten erörtern.

Auf ein verändertes und zurückgedrängtes Leben im Boden scheint die Unzersetzlichkeit der abgefallenen Fichtennadeln in den Rauchschadengebieten des Oberharzes hinzuweisen. v. Schroeder und Reuß, welche die Erscheinung als ein charakteristisches Merkmal chronischer Rauchbeschädigung bei den Fichten betrachten, beschreiben die Erscheinung folgendermaßen: »Eine auffallende Erscheinung, die in der Nähe der Hütten an verschiedenen Orten bemerkt wurde, ist die abnorme Nadelanhäufung in älteren Beständen (der Fichte). Die abgefallenen Nadeln liegen bis zu einer Höhe von 30—40 cm ohne Spur von Zersetzung lose auf dem Boden, mit dem sie meist nicht durch eine Humusschicht verbunden sind. Daß Hüttenrauch die Ursache dieser Erscheinung ist, kann nicht bezweifelt werden. Durch die schweflige Säure werden die Nadeln getötet und fallen ab und zwar 4—5 Jahrgänge mehr als bei gesunden Beständen, wodurch zunächst eine abnorme Nadelanhäufung veranlaßt wird, die sich noch vermehrt, da die Zersetzbarkeit der Nadeln sehr erschwert ist« [1]). Für uns ist auf die Verzögerung in der Zersetzung der Nadeln das Gewicht zu legen, denn selbst der vorzeitige Fall von 4—5 Nadeljahrgängen kann, wenn die Zersetzung nicht beeinflußt wird, unmöglich so hohe Nadelschichten von 30—40 cm liefern. Zur Erklärung der Erscheinung hat man eine Vergiftung der Nadeln angenommen, und hat die Ursache bald in Bleioxyd, bald in arseniger Säure gesucht, welche durch den Flugstaub den Nadeln zugeführt werden sollen. — Aber das sind nur Vermutungen, für die niemals ein Beweis erbracht worden ist. Sie dürften auch unzutreffend sein. Die Anhäufung unzersetzter Fichtennadeln habe ich auch in einem Bestande des Barmer Rauchschadengebietes angetroffen, wo nur schweflige Säure im Spiele ist. Wenn es sich bei der Unzersetzlichkeit der Nadeln um eine Vergiftung handelte, so könnte sie nur durch die Säure hervorgerufen werden. Nun wird sie ja, wie wir gesehen haben, durch die Nadeln gespeichert und läßt sich auch in den abgefallenen unzersetzten Nadeln noch nachweisen (150 g lieferten 0,0037 g und 0,0023 g $BaSO_4$); sie ist aber doch nur in sehr geringer Menge vorhanden, und da sie nicht ausreichend ist, um die Zellen der Nadeln zu töten, darf man auch nicht erwarten, daß diese durch ihre Gegenwart immun gemacht werden. Vielmehr muß man sich nach einer anderen Ursache umsehen, und diese Ursache kann nur im Boden gefunden werden. Die Nadeln

[1]) v. Schroeder u. Reuß, S. 318.

werden nicht zersetzt, weil im Boden nicht die Bedingungen für die Zersetzung organischer Materie vorhanden sind, war doch auch der Boden von der Clausthaler Rauchblöße, mit dem Reuß experimentierte, mit nur halb oder gar nicht zersetzten Nadelabfällen gemengt, woraus sich, obgleich er nur etwas Humus enthielt, der hohe Gehalt an organischen Stoffen von 24,95 % erklärt. Auch hat sich der Boden durch zweijähriges Liegen in rauchfreier Gegend fast gar nicht verändert, ein weiterer Beweis, daß seine Fähigkeit, organische Materie zu zersetzen, erheblich gelitten hat. Es ist auch nicht zu erwarten, daß die Bakterien, denen wohl die Zersetzung obliegt, sich hier entwickeln sollten, wo die Bodenbeschaffenheit ihnen nicht zusagt, und wo sich der saure Charakter des Bodens auf die zu zersetzenden Nadeln selbst erstreckt. Auch sie enthalten freie Humussäure. Die untersuchten Nadeln stammten von einer Stelle, welche etwa 600 m westlich von der Clausthaler Silberhütte gelegen ist. Sie wurden fein zerkleinert und wie die Erdproben behandelt; ihr Feuchtigkeitsgehalt betrug 21,85 %. Es wurden zwei Bestimmungen mit je 10 g Substanz ausgeführt. Sie lieferten 27,7 resp. 34,6 mg Kohlensäure.

Der Gehalt an Humussäure ist demnach recht beträchtlich. Wenn nicht normalerweise bei der Zersetzung der Nadeln freie Humussäure auftritt, was wohl kaum geprüft worden ist, so dürfte auf die Gegenwart der Säure dies Unterbleiben der Zersetzung zurückzuführen sein. Die ein saures Substrat liebenden Schimmelpilze sind in reicher Menge vorhanden. Sollten sie unter normalen Verhältnissen stark zurücktreten, so würden wir hier ein schönes Beispiel haben, wie die Veränderung der Reaktion des Substrates das Aufkommen anderer Organismen begünstigt.

Das Vorhandensein der freien Humussäure in den Böden zeigt unwiderleglich, daß sie wenigstens an bestimmten Nährstoffen verarmt sein müssen, und da die Einwirkung der Säure andauert, muß diese Verarmung dauernd fortschreiten. Wie tief in den Boden hinein sie sich bereits erstreckt, wurde nicht untersucht, sicher reicht sie in den daraufhin untersuchten Gebieten 30 cm tief; wie tief sie sich erstrecken kann, hängt von der Beschaffenheit des Untergrundes ab.

Normalerweise entstehen bei der Zersetzung der Pflanzenteile, aus denen der Humus hervorgeht, mineralische Verbindungen, von denen ein Teil nicht im Boden absorbiert wird, und Kohlensäure, welche einen Teil der Basen des Bodens in Lösung bringt. Alle diese Verbindungen werden durch das Regenwasser ausgewaschen, und würden so eine Verarmung des Bodens herbeiführen; namentlich müßte sich auf kalkarmen Böden der Kalk beständig vermindern. Wenn dennoch auf gesunden normalen Waldböden der Wald ohne Anzeichen einer Bodenverarmung gedeiht, so muß noch ein Faktor im Spiele sein, welcher der auslaugenden Wirkung des Regen-

wassers das Gegengewicht hält. Die in tiefere Schichten geführten Nährstoffe müssen wieder an die Oberfläche gebracht werden; es muß gleichsam eine natürliche Bodenbearbeitung stattfinden. Nach den Untersuchungen von P. E. Müller[1]) fällt diese Aufgabe den Regenwürmern zu. Sie dringen in tiefere Schichten des Bodens ein, nehmen hier zur Verarbeitung der gefressenen organischen Substanzen Erde in ihre Verdauungsorgane auf und bringen sie mit ihren Exkrementen an die Oberfläche des Bodens. Durch die Tätigkeit der Regenwürmer entsteht der mullartige Humus, auf dem die Wälder am üppigsten gedeihen. Wo die Regenwürmer ausbleiben, unterbleibt die beständige Mischung der Schichten; der Boden wird sauer von Humussäure, er vertorft. Es ist anziehend bei Müller zu lesen, wie sich die Flora und Fauna im Boden ändert, und wie bedeutend hierdurch die Bodenbeschaffenheit beeinflußt wird.

Aus Analogie wird man schließen dürfen, daß auch den sauren Böden in den Rauchschadengebieten die Regenwürmer fehlen, oder daß sie sehr zurücktreten. Dadurch würde sich zu all den schädlichen Einwirkungen auf den Boden noch eine weitere gesellen. Es wäre sehr wünschenswert, wenn diesen bisher so wenig gekannten Verhältnissen Aufmerksamkeit geschenkt würde, wenn die makroskopisch wahrnehmbaren Veränderungen in der Flora und Fauna in den Böden der Rauchschadengebiete beobachtet würden. Es müßte das eine dankenswerte Aufgabe für die in denselben ansässigen Forstbeamten sein.

Durch die Veränderung der Flora und Fauna werden auch die physikalischen Verhältnisse des Bodens geändert. Die mechanische Mischung unterbleibt; die chemische Zersetzung der organischen Stoffe verläuft abweichend; es findet eine Auslaugung bestimmter chemischer Verbindungen statt. Die dadurch geänderte physikalische Beschaffenheit macht sich besonders in einer Veränderung der Wasserkapazität bemerkbar. Nach den Untersuchungen von Burgerstein[2]) sollen die Humussäuren die Wasseraufnahme aus dem Boden durch die Wurzeln erschweren, und auf diesen Umstand führt Schimper[3]) den entschieden xerophilen Charakter der Hochmoorvegetation zurück. Wenn es sich bei unseren sauren Böden auch nicht um einen ausgesprochenen Moorboden handelt, da die große Nässe fehlt, so nähern sie sich demselben unbedingt in ihrer Beschaffenheit, und mit großer Wahrscheinlichkeit wird man annehmen dürfen, daß in ihnen den phanerogamen Pflanzen die Wasseraufnahme erschwert ist.

Nach dem vorstehenden kennzeichnet das Auftreten der freien Humus-

---

[1]) Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden. Berlin 1887.

[2]) Die Transpiration der Pflanzen. Jena 1904. S. 147.

[3]) Pflanzen-Geographie auf physiologischer Grundlage. Jena 1898. S. 124.

säure im Boden eine weitgehende Veränderung seiner Beschaffenheit in physikalischer, chemischer und biologischer Hinsicht. Es ist nicht gut denkbar, daß diese Veränderungen ohne Einwirkung auf die phanerogamen Pflanzen bleiben. Daß die krautige Vegetation in hohem Maße von der Natur des Humus abhängig ist, ergibt sich aus den Untersuchungen von P. E. Müller[1]). Es lassen sich geradezu Leitpflanzen für den milden und den sauren Humus unterscheiden. In Buchenwäldern mit mullartigem Humus treten Asperula odorata, Mercurialis perennis, Milium effusum, Melica uniflora, Stellaria nemorum u. a. m. auf; Moose fehlen ganz oder sind nur in vereinzelten kleinen Haufen vorhanden. Dahingegen ist ihr reichliches Auftreten für die Buchenwälder mit vertorftem Boden charakteristisch, ebenso wie das von Aira flexuosa und Trientalis europaea. Ähnlich muß es mit den anderen Waldarten liegen; auch sie werden je nach der Natur des Humus charakteristische Leitpflanzen besitzen. Wenn die Pflanzen so an die spezifische Beschaffenheit des Humus gebunden sind, so dürfen wir erwarten, daß sich auch in den Rauchschadengebieten auf den veränderten Böden die phanerogamische Flora ändert. Das Verdrängen der einen Vegetation durch die andere oder das Verschwinden der normalen Vegetation würde ein gutes Anzeichen für die Verschlechterung des Bodens sein. Bisher hat man auf diese Verhältnisse, wenn man von dem Auftreten der Heide absieht, so gut wie gar nicht geachtet. Letztere stellt sich erst ein, wenn der Wald verschwindet; die eben erwähnte Änderung in der Zusammensetzung der Flora macht sich aber schon bemerkbar, so lange der Wald noch steht; sie müßte ein treffliches Anzeichen für eine Verschlechterung des Bodens abgeben, welche, wenn nicht andere Ursachen vorliegen, lediglich auf eine Einwirkung der Säure in der Luft zurückgeführt werden kann. Es scheint mir wesentlich zu sein, daß in der Zukunft diesen floristischen Verhältnissen mehr Beachtung geschenkt wird.

Gleich den krautigen Pflanzen muß auch die Baumvegetation notleiden, denn die veränderten physikalischen und chemischen Verhältnisse sind für diese genau ebenso störend wie für sie, nur daß sie sich bei den Bäumen vielleicht erst später störend bemerkbar machen, namentlich bei solchen, welche tiefer gehende Wurzeln haben, und welche überhaupt keine große Anforderungen an die Nährstoffe stellen. Sie können sich längere Zeit mit einem geringeren als dem normalen Gehalt an Nährstoffen im Boden begnügen.

Die Bäume können ihre ganze Entfaltung dem Nährstoffvorrat im Boden anpassen; und darauf beruht es, daß dieselbe Baumart auf Böden verschiedener Bonität gezogen werden kann. Wenn aber ein Baum auf

[1]) l. c. S. 9 u. 12.

einem Boden bestimmter Beschaffenheit die entsprechende Entfaltung genommen hat, so muß er leiden, wenn der Boden anfängt sich zu verschlechtern, da er nun nicht mehr imstande ist, alle seine Glieder normal zu ernähren. Ein Teil derselben muß absterben und zwar so weit, bis ein Gleichgewicht zwischen dem Nährstoffvorrat im Boden und der Entfaltung der Krone hergestellt ist. Wenn die Verschlechterung des Bodens beständig fortschreitet, muß auch der Baum mehr und mehr absterben und schließlich zugrunde gehen. Diese Schlußfolgerung ist zwingend. Von Wichtigkeit ist nur, ob sich ein Boden in verhältnismäßig kurzer Zeit so verändern kann, daß das einzelne Individuum darunter leidet. In der Tat kommt das in der Natur vor, wie aus den Mitteilungen von P. E. Müller[1]) für die Buche und Eiche hervorgeht. „Die Buchenbestände auf torfbekleidetem Boden haben ein langsames Wachstum; die älteren Bäume haben dürre Wipfel, sind oft mit Moos bewachsen und tragen andere Zeichen eines krankhaften Zustandes. Doch findet man auch häufig auf weniger mächtigen Torfbildungen Bestände, deren Aussehen zwar verrät, daß sie augenblicklich leidend sind, deren Form und Höhenwuchs aber darauf hindeutet, daß sie früher vollkommen gesund gewesen sind, ja daß sie sogar ein außerordentlich gutes Wachstum gehabt haben müssen. Wie wir später sehen werden, ist man gewiß zu dem Schluß berechtigt, daß die Torfbildung hier verhältnismäßig jungen Ursprungs ist.“ An einer anderen Stelle schildert Müller einen Eichwald in Jütland, wo am westlichen Ende infolge beginnender Vertorfung die Bäume von oben nach unten absterben, aber aus den Wurzelstöcken wieder ausschlagen. Es bilden sich die „Krattbüsche“, welche in dieser verkleinerten Form den gegebenen Ernährungsbedingungen angepaßt sind und das Leben der Eichbäume noch lange fortsetzen[2]). Bei der von Müller als Vertorfung beschriebenen Veränderung des Bodens treten also bei den Buchen und Eichen dieselben Erscheinungen auf, welche im Probsteywalde unter Einwirkung des Rauches beobachtet werden. Wenn daraus nun auch nicht ohne weiteres auf die gleiche Ursache geschlossen werden darf, so gibt uns doch die Übereinstimmung die Berechtigung für die Rauchbeschädigungen die Bodenverhältnisse gleichfalls als Erklärungsgrund heranzuziehen.

Ob die auf torfig werdendem Boden stehenden Buchen auch eine vorzeitige Herbstverfärbung wie die im Probsteywalde aufweisen, wird von Müller nicht erwähnt. Sollte es der Fall sein, wäre die Übereinstimmung vollkommen. Meine eigenen Beobachtungen haben mir gezeigt, daß bei mangelhafter Ernährung sich die Blätter nicht nur der Buche, sondern

---

[1]) l. c. S. 32.
[2]) l. c. S. 130.

auch anderer Holzgewächse gelb färben. Mehrjährige Exemplare von Buche, Eiche und Fichte wurden mehrere Jahre hindurch in Töpfen kultiviert. Anfänglich waren und blieben sie ganz normal grün, in den letzten Jahren jedoch trat bei den Buchen und Eichen, und zwar bei jenen in ausgeprägterem Maße, eine vorzeitige Herbstfärbung ein, während die Nadeln der Fichte einen gelblichen Farbenton annahmen. Die Blätter etwa zehnjähriger Eichen eines kleinen Bestandes aus meinem Institutsgarten zeigten in den letzten Jahren einen gelblichen Farbenton, unverkennbar infolge von Nährstoffmangel, was auf dem an und für sich nicht sehr reichen Boden nicht überraschen konnte. Im Eschweilerer Walde und in der kleinen Probstey bei Stolberg habe ich vielfach heller gefärbte Eichen beobachtet. Für diese Verfärbung kann auch nur Nährstoffmangel im Boden verantwortlich gemacht werden, da aus meinen Versuchen hervorgeht, wie schwer oder gar nicht das Eichenblatt in seiner Färbung durch die Säure beeinflußt wird. Auch hat man vielfach Gelegenheit, wenn man darauf achtet, Bäume mit anormal gelb gefärbten Blättern hier und da zu beobachten. Ein derartiges Schwanken in der Nadelfärbung wird auch im Walde an der Fichte beobachtet und und ist gewiß jedem Forstmann bekannt. In einem Falle, den Albert[1]) anführt, trat das Dunkelgrün der Benadelung wieder ein, als mit Stickstoff gedüngt wurde. Daraus darf natürlich noch nicht gefolgert werden, daß die Verfärbung der Blattorgane in jedem einzelnen Falle auf Stickstoffmangel zurückzuführen ist.

Werden die vorzeitig herbstlich verfärbten Topfbuchen und die gelben Fichten ins freie Land verpflanzt, so konnte man bei den ersteren bereits im folgenden Jahr ein anderes Verhalten beobachten. Die Blätter behielten ihre normal grüne Farbe wie andere Freilandbuchen. Bei den Fichten ging die Verfärbung nicht so schnell vor sich. Als ihr Wurzelsystem sich im Boden so weit entwickelt hatte, daß sie kräftig Sprosse bildeten, stellte sich die dunkelgrüne Farbe ein. Wo die Triebe unbedeutend waren, erhielt sich noch der gelbliche Farbenton.

Litten die Topfpflanzen an Nährstoffen Mangel, was am Ende nicht überraschen konnte, da sie nicht gedüngt wurden, so durfte man erwarten, daß auch der Boden sauer geworden war. Ich habe eine Buche und eine Fichte im Herbste des betreffenden Jahres daraufhin untersucht. Die Erde wurde aus der Mitte des Topfes genommen, bei der Buche wurden zwei, bei der Fichte eine Bestimmung ausgeführt. Wie bei den früheren

[1]) Welche Erfahrungen liegen bis jetzt über den Einfluß künstlicher Düngung und Bodenbearbeitung im forstlichen Großbetriebe vor? In welcher Weise und nach welcher Richtung hin sind Versuche hierüber fernerhin anzustellen? — Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. Bd. 37. 1905, S. 149.

Bestimmungen kamen jedesmal 10 g Erde zur Anwendung, die Versuchsergebnisse gebe ich für 100 g Erde an.

	100 g Erde enthalten		100 g Erde geben	100 g organ. Substanz liefern
	Wasser g	organische Substanz g	mg CO_2	mg CO_2
Topfbuche	19,9	8,75	192	2194
„	19,9	8,75	215	2457
Topffichte	10,15	9,15	185	2022

Diese Böden sind stark sauer; sie sind also nährstoffarm. Man wird mit Recht die Verfärbung der Blattorgane auf Nährstoffmangel zurückführen dürfen. Welcher Stoff im speziellen durch seine Abwesenheit die Verfärbung bedingt, müßte noch ermittelt werden. Wir haben hier dieselben Verhältnisse wie im Stolberger Rauchschadengebiet hinsichtlich der Buche und in dem Clausthaler Rauchschadengebiet hinsichtlich der Fichte. Was durch die Topfkulturen im kleinen erwiesen ist, dürfte sich hier im großen wiederholen. Wir sind also durchaus berechtigt, mit der Möglichkeit zu rechnen, daß die Verfärbungen der Buchen und Fichten in den Rauchschadengebieten, wo sie als chronische Beschädigungen auftreten, durch die Nährstoffarmut des Bodens bedingt sind.

Derselbe Faktor kann aber auch für das Kahlwerden und langsame Absterben der Wipfel der Eichen und Buchen und für den vorzeitigen Fall der älteren Nadeljahrgänge bei der Fichte verantwortlich gemacht werden. Wenn man sich unvoreingenommen die Bäume in solchen Wäldern ansieht, so ist der erste Gedanke der, daß wir es hier mit Wassermangel zu tun haben. Die Bäume sind eben nicht mehr imstande, dem Boden die für die Größe ihrer Krone erforderliche Wassermasse zu entnehmen, sie sind gezwungen, einen Teil der Organe fallen zu lassen. Dieser Verlust muß sich natürlich zunächst dort bemerkbar machen, wo es am schwierigsten ist, das Wasser hinzuschaffen, in den höchst gelegenen Punkten, im Wipfel. Bei Wassermangel muß das Absterben von oben nach unten fortschreiten; es wird anhaltend fortschreiten, wenn sich die Bedingungen für die Wasseraufnahme kontinuierlich verschlechtern. Noch klarer liegen vielleicht die Verhältnisse für die Fichte. Bei Wassermangel ist das nächste, daß die Pflanze ihre Blattorgane zum Teil abwirft. Nun zeigt eine überall wiederkehrende Erfahrung, daß die jungen Blätter erhalten bleiben und die älteren abgestoßen werden. Dementsprechend läßt die Fichte die älteren Nadeljahrgänge fallen, und sie muß umso mehr fallen lassen, je ungünstiger die Verhältnisse zur Aufnahme des Wassers

aus dem Boden werden. So ließen sich sehr gut die Beobachtungen von v. Schroeder und Reuß über die chronisch beschädigten Fichten erklären. Alle die namhaft gemachten Erscheinungen würden sich aus Wassermangel im Boden befriedigend erklären lassen; kann man aber mit der Möglichkeit rechnen, daß ein solcher Wassermangel vorhanden ist? Wir haben oben hervorgehoben, daß sich mit dem Auftreten von Humussäuren auch die physikalischen Eigenschaften des Bodens und mithin auch die Wasserkapazität desselben ändert. Es konnte ferner darauf hingewiesen werden, daß die Gegenwart von Humussäuren im Boden die Aufnahme des Wassers durch die Wurzeln aus demselben erschwert. Mit der Möglichkeit eines Wassermangels bei den Bäumen ist also durchaus zu rechnen. Besondere Untersuchungen müßten feststellen, ob eine solche Erschwerung der Wasserversorgung tatsächlich vorliegt. Während sich die Folgen eines Wassermangels für den Habitus des Baumes gut übersehen lassen, sind wir über die Wirkungen eines Mangels an mineralischen Nährstoffen auf denselben weniger gut unterrichtet. Wir wissen nicht, ob ein solcher Mangel zum Absterben des Wipfels und damit zu einer Änderung des Habitus des betreffenden Baumes führen kann, oder ob er sich nur in einer Beeinträchtigung des Wachstums, in einer Verfärbung und in einem vorzeitigen Fall der Blattorgane bemerkbar macht. Die Erfahrungen mit den Topfpflanzen geben darüber keinen Aufschluß, ebensowenig die aus Müller angeführten Beispiele der Buche und Eiche, welche kahle Wipfel bekommen oder gar absterben, wenn der Boden torfig wird. Vielmehr ist es sehr wahrscheinlich, daß auch in diesem Falle die Erscheinungen auf erschwerte Wasseraufnahme zurückzuführen sind.

Meiner Ansicht nach liegt die Sache so, daß in den Rauchschadengebieten die Verschlechterung des Bodens die chronischen Beschädigungen der Bäume bewirkt, daß hierbei die Verarmung des Bodens an Nährstoff die Verfärbung der Buchenblätter und der Fichtennadeln hervorruft, während die veränderte physikalische Beschaffenheit des Bodens namentlich hinsichtlich der Wasserkapazität und der Gehalt an Humussäure durch die erschwerte Wasserversorgung bei Buchen und Eichen das Absterben der Bäume vom Wipfel aus veranlaßt, bei der Fichte den Verlust der älteren Nadeljahrgänge herbeiführt. Nun läßt sich andererseits durch das Experiment zeigen, daß durch länger ausgedehnte Beräucherung eine Verfärbung der Blattorgane bei den Fichten, den Buchen und dem Weinstock hervorzurufen ist. Während sich die hellere grüne Farbe der Fichte bis in den Winter erhielt, verschwand sie im nächsten Frühjahr wieder, als das Exemplar im Schatten anderer Bäume gehalten wurde. Die Blätter der Buche fielen eher ab als die der nichtberäucherten Exemplare. Die Blätter des Weinstocks nahmen einen gelbgrünen Farbenton der Chloroplasten an und fielen

gleichfalls erheblich eher ab als die Blätter nichtberäucherter Exemplare. Obgleich ich nicht imstande war, den Gehalt der schwefligen Säure im Räucherhause genau zu bestimmen, so habe ich doch den Eindruck gewonnen, als ob die Verfärbungen nur bei Einwirkung verhältnismäßig hoher Konzentrationen der Säure auftreten würden. Es ist mir deshalb zweifelhaft geworden, ob die Verfärbungen der Blattorgane, welche so häufig in sehr weiter Entfernung von der Rauchquelle noch zu beobachten sind, durch die direkte Einwirkung der Säure auf die Blattorgane hervorgerufen werden. Bei der Fichte ist die Verfärbung im Experiment unzweifelhaft schwer hervorzurufen. Mir ist es nur in wenigen Versuchen gelungen und Wislicenus[1]) so gut wie gar nicht, obgleich bei der von ihm angewandten Konzentration starke Beschädigungen der Bäumchen auftraten. Auch bei den Buchen konnte die Verfärbung nicht an jedem Exemplar hervorgerufen werden, und sie trat um so deutlicher hervor, je mehr das betreffende Exemplar der Einwirkung der Säure ausgesetzt gewesen war.

Es können hier also zwei Verfärbungsursachen in Betracht kommen. Welche in den Rauchschadengebieten die wirksame ist, kann nicht durch Versuche im Laboratorium oder im Räucherhause, sondern nur durch Experimente an Ort und Stelle, indem man die eine Ursache ausschließt, entschieden werden. Erst dann, wenn man die schlechte Beschaffenheit des Bodens beseitigt, wird man feststellen können, ob die Säure direkt die Verfärbung der Blattorgane bewirkt. Es müßten also Düngungsversuche ausgeführt werden. Notwendig wäre zunächst eine ausreichende Düngung mit Kalk, um die Humussäuren und die Säuren, welche aus der Luft auf den Boden gelangen, zu binden und die physikalische Beschaffenheit des Bodens zu ändern. Da aber zu erwarten steht, daß der Boden, welcher, wie die Bestimmungen ergeben haben, sehr reich an Humussäuren, arm an allen Nährstoffen ist, so müßte der Vorsicht halber auch eine Düngung mit Stickstoff, Phosphorsäure und Kali ausgeführt werden. Wenn die Voraussetzung, welche wir gemacht haben, zutrifft, müßten sich die verfärbten Bäume nach der Düngung wieder normal färben. Ebenso müßte eine Verfärbung der Bäume ausbleiben, wenn junge Bäume auf entsprechend gedüngten Stellen in Rauchschadengebieten kultiviert würden. Da, wie wir gesehen haben, der Boden durch die Säure immer wieder verdorben wird, so müssen die Düngungen von Zeit zu Zeit erneuert werden. Die Vorgänge im Boden sind aber nicht rein chemisch, und so könnte es sein, daß die Versuche resultatlos verlaufen; man müßte deshalb auch dem biologischen Faktor im Boden ausreichend Rechnung tragen. Die Fauna und Flora dürfte zum Teil vernichtet, zum Teil verändert sein, es müßte deshalb der

[1]) Tharander forstliches Jahrbuch Bd. 48, S. 164.

Versuch gemacht werden, die normale Fauna und Flora wieder anzusiedeln und dauernd zu erhalten. Erst wenn das gelänge, könnte man auf einen dauernden Erfolg rechnen. Durch Zusatz von gutem Waldboden sollte man erwarten dürfen, die erforderlichen Organismen dem Boden wieder zuzuführen. Es müßte der Versuch weiter entscheiden, ob sie erhalten bleiben, wenn auch fernerhin Säure auf den Boden gelangt, falls für ausreichenden Kalk Sorge getragen ist.

Wenn unter Anwendung aller dieser Vorsichtsmaßregeln sich dennoch die Buchenblätter und die Fichtennadeln verfärbten, so wäre damit der Beweis erbracht, daß es sich bei dieser Erscheinung um eine direkte Einwirkung der Säure auf die Blattorgane handelt. Es müssen die Versuche dann auch weiter lehren, auf welche Ursache der Fall der älteren Nadeln bei der Fichte und das Absterben der Wipfel bei den Buchen und Eichen zurückzuführen ist. So scheinen mir solche Düngungsversuche in den Rauchschadengebieten, mit allen Vorsichtsmaßregeln unternommen und mit der nötigen Beharrlichkeit durchgeführt, dazu berufen zu sein, die Laboratoriumsuntersuchungen über die Einwirkung der Säure zu ergänzen und wesentlich Aufschluß über die Wirkungsweise der Säure im Walde zu geben.

Wer sich nicht näher mit solchen Untersuchungen befaßt hat, könnte die vorstehenden Darlegungen vielleicht für zu kühn und phantastisch halten und meinen, daß die kleinen Mengen Säure, welche in die Luft gelangen, unmöglich die vorausgesetzten Veränderungen im Erdboden und die durch sie bedingten Beschädigungen der Bäume bewirken können. Aber diese kleinen Mengen strömen beharrlich ohne Unterbrechung in die Luft und gelangen auch kontinuierlich auf den Boden; ihre Wirkungen müssen sich hier zu ganz respektablen Leistungen summieren. Wenn man sich vergegenwärtigt, welche große Mengen Säure in den Rauchschadengebieten in die Luft gelangen, so kommt man bald zu der Überzeugung, daß ansehnliche Mengen auch auf den Boden fallen müssen. Exakte Bestimmungen darüber gibt es nicht; man ist bei der Berechnung immer auf allerlei Voraussetzungen angewiesen, welche mehr oder weniger zutreffen können.

Im Jahre 1879 hat Hasenclever[1]) berechnet, daß in Stolberg und Umgegend, wo Eisen, Blei, Zink, Glas, chemische Produkte u. a. fabriziert werden, auf einer Grundfläche von 650 ha aus 220 Schornsteinen in 24 Stunden 86588 kg schweflige Säure und Salzsäure entweichen. Es ist natürlich für unsere Zwecke ganz gleichgültig, ob die Säure schweflige Säure oder Salzsäure ist; die Wirkung auf den Boden ist die nämliche.

[1]) Über die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. Chem. Industrie 1879. Sonderabdruck S. 13.

Ob die von Hasenclever ermittelten Zahlen heute noch strenge Gültigkeit haben, kann ich nicht beurteilen; aber selbst bei beträchtlicher Verminderung ist die Menge immer noch bedeutend. Da die ermittelte Menge wenigstens in früheren Jahren in die Luft gegangen ist, wovon der Wald heute noch die Spuren trägt, ist es gestattet, sie für unsere Berechnung zugrunde zu legen. Erheblich schwieriger ist die Frage zu beantworten, wie groß das Areal ist, über welches sich die Säure verbreitet, und auf dem sie zu Boden sinkt. Ich schätze das Gebiet auf etwa 40 Quadratkilometer und mache die Voraussetzung, daß die Säure sich gleichmäßig auf diesem Areal niederläßt, was keineswegs zutrifft. Wind und die wachsende Entfernung von der Rauchquelle ändern dies Verhältnis vollkommen. Entweichen in 24 Stunden 86588 kg Säure aus den Schornsteinen, so macht das 31724620 kg im Jahre und wenn diese sich gleichmäßig auf einer Fläche von 40 Quadratkilometern niederlassen sollen, so entfallen auf den Quadratmeter im Jahre 0,793 kg Säure. Das ist eine ansehnliche Menge, welche nicht ignoriert werden darf. Berücksichtigt man, daß in der Nähe der Rauchquellen erheblich mehr herabfallen muß, als in den entfernteren Partien, daß durch die vorherrschenden Winde manchen Teilen größere Mengen Säure als anderen zugeführt werden müssen, und erwägt man, daß sich die Säure in den Kronen der Bäume sozusagen fängt und mit dem Regenwasser auf ein verhältnismäßig kleines Areal herabgespült wird, so leuchtet es ein, daß dem Boden, namentlich unter den hohen Bäumen, so viel Säure zugeführt wird, daß sich schon in kurzer Zeit eine namhafte Wirkung auf denselben bemerkbar machen muß.

Ähnliche Berechnungen lassen sich auch für die Rauchschadengebiete bei der Clausthaler und Altenauer Silberhütte anstellen. Für die erstere wird die Menge der entweichenden Säure auf 2000, für die letztere auf 420 Tonnen angegeben[1]). Veranschlagt man das Clausthaler auf 17 und das Altenauer Rauchschadengebiet auf 6 Quadratkilometer, so fallen in jenem 120, in diesem 70 g Säure auf einen Quadratmeter im Jahre. Diese Mengen sind erheblich kleiner als die für das Stolberger Gebiet ermittelte Menge, werden aber eine Wirkung schließlich auch nicht verfehlen.

Für das Myslowitz-Kattowitzer Rauchschadengebiet hat Reuß[2]) eingehende Berechnungen ausgeführt und zum Teil veröffentlicht. Ihm dient als Maßstab für die Menge Säure, welche in einer bestimmten Entfernung von den Rauchquellen auf 1 ha niederfällt, der Gehalt an Schwefelsäure in den Nadeln der Fichte. Er findet z. B. unter Berücksichtigung der Windverhältnisse, daß in den Jagen 26 und 34 (Nr. der Karte bei Reuß;

[1]) Haselhoff und Lindau l. c. S. 152 u. 158.

[2]) Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Winckler'schen Forstrevier Myslowitz-Kattowitz. Goslar 1893. S. 210.

auf dem Meßtischblatt sind sie nicht mehr numeriert) 352 resp. 277 g schweflige Säure auf den Quadratmeter im Laufe eines Jahres niederfallen. Mit wachsender Entfernung von den Rauchquellen vermindert sich diese Menge erheblich. Hierbei ist außer Betracht geblieben, daß sich unter den hohen Bäumen mehr Säure ansammeln muß. Ob die von den Nadeln aufgenommene Menge Säure als Maßstab für die auf den Boden gelangende Säure angesehen werden kann, ist natürlich auch zu bezweifeln.

Alle diese Zahlen beruhen auf Berechnungen, denen mehr oder weniger willkürliche Annahmen zugrunde liegen. Meines Wissens nach gibt es eine einzige exakte Angabe über die Menge Säure, welche auf den Boden gelangt. Von ganz anderen Gesichtspunkten geleitet, hat Sendtner[1]) im Jahre 1886 den Gehalt des Schnees an Schwefelsäure in München bestimmt. Am 6. Februar enthielt 1 kg Schnee auf dem Hof des Hygienischen Instituts 7,5 mg Schwefelsäure. Nach 16 Tagen, während deren es nicht geschneit hatte, betrug der Gehalt 91,5 mg, so daß eine Zunahme von 84 mg zu verzeichnen war. Wenn während des ganzen Jahres die Zunahme an Säure auf dem Boden in München konstant wäre, so würden auf ein Flächenstück von bestimmter Größe 1133 mg SO_2 entfallen. Da Sendtner nicht die Höhe der Schneeschicht angibt, läßt sich auch nicht berechnen, wie groß das Flächenstück war, von dem er den Schnee entnommen hatte. Davon hängt natürlich alles ab, wenn man berechnen will, wieviel Säure auf einen Quadratmeter im Laufe eines Jahres fällt. Nehmen wir an, daß der Schnee einer Fläche von 400 qcm entnommen wurde, dann entfallen auf 1 qm 28 g SO_2. Wenn nun schon in einer Stadt ohne besonders ausgebreiteter Industrie diese Menge Säure auf die Erde gelangt, wieviel Säure muß dann erst in den Industriestädten und nun gar in den Rauchschadengebieten zu Boden sinken.

Es bedarf kaum eines näheren Hinweises, daß die oben für die Rauchschadengebiete ermittelten Säuremengen nicht wirkungslos auf den Boden fallen können. Ohne noch einmal auf alle die Wirkungen, welche die Säure im Boden hervorrufen kann, einzugehen, möchte ich hier nur kurz ihre Wirkung auf den Kalk erörtern.

Wie schnell eine Veränderung im Kalkgehalt des Bodens eintritt, wird von dem Reichtum desselben an kohlensaurem Kalk abhängen. Ist er sehr bedeutend, wird sie sich erst spät fühlbar machen. Die meisten Böden werden aber nicht besonders reich daran sein und namentlich ist das von den Waldböden in den Rauchschadengebieten anzunehmen. Legen wir unseren Betrachtungen einen Gehalt des Bodens von 1 % kohlensaurem

[1]) Schweflige Säure und Schwefelsäure im Schnee. Bayer. Industrie- u. Gewerbeblatt 1887.

Kalk zugrunde und nehmen wir ein spezifisches Gewicht von 2% für den Boden an, so enthält 1 Kubikmeter Boden mit einer Grundfläche von 1 qm 2000 kg Boden und 20 kg kohlensauren Kalk. Um diese ganze Masse in schwefelsauren Kalk zu verwandeln, sind 12,8 kg schweflige Säure erforderlich. Wenn nun, wie Reuß für Jagen 26 ausrechnet, jährlich 352 g Säure auf einen Quadratmeter niederfallen, so wären 36 Jahre erforderlich, damit sämtlicher kohlensaurer Kalk bis zu 1 m Tiefe verschwunden wäre. Jährlich würde demnach eine Schicht von 3 cm Höhe vollständig entkalkt werden. Die Schnelligkeit, mit welcher der Boden seines Kalkes beraubt wird, hängt einerseits von dem Gehalt an Kalk, andererseits von der Menge Säure ab, welche auf den Boden fällt. Obiges Beispiel soll nur zeigen, daß es sich hier um einen Vorgang handelt, der unsere Beachtung verdient, und daß die stillschweigende Voraussetzung, im Boden seien immer Basen zur Bindung der aus der Luft stammenden Säure in genügender Menge vorhanden, unrichtig ist. Der kohlensaure Kalk wird in schwefelsauren Kalk verwandelt, der in Wasser löslich ist und allmählich aus dem Boden ausgewaschen wird. Wenn täglich auf der Fläche von einem Quadratmeter 2 g Gips gebildet werden, so dürfte diese Menge wohl leicht weggelöst werden können, jedenfalls ist diese kleine Menge durch die Analyse nicht festzustellen, und wenn täglich etwa soviel gelöst, als gebildet wird, kann der Gipsgehalt im Boden keine Zunahme erfahren. Darauf dürfte es beruhen, daß v. Schroeder in beräucherten Böden keine Zunahme an Schwefelsäure feststellen konnte. Übrigens verhalten sich beräucherte Böden in diesem Punkte sehr verschieden, wie aus den Angaben von Haselhoff und Lindau[1]) über die Dortmunder Zinkhütte hervorgeht.

I. Mit Hafer bestandene Böden:

	Obergrund	Untergrund
Grundstück A . .	0,066% SO_3	0,053% SO_3
„ B . .	0,072 „ „	0,049 „ „
Gesunde Gegenprobe	0,073 „ „	0,035 „ „

II. Mit Roggen und Gras bestandene Böden:

	Obergrund	Untergrund
1. Roggen, beschädigt . .	0,066% SO_3	0,053% SO_3
„ „ . .	0,062 „ „	0,042 „ „
„ unbeschädigt .	0,056 „ „	0,041 „ „
2. Gras, beschädigt . . .	0,374 „ „	0,169 „ „
„ unbeschädigt . .	0,207 „ „	0,038 „ „

[1]) l. c. S. 183.

Aus diesen Zahlen ersieht man, daß der Obergrund im allgemeinen reicher an Schwefelsäure ist als der Untergrund; bald ist der Obergrund des beschädigten Bodens reicher, bald ärmer als der des unbeschädigten Bodens an Schwefelsäure, bald ist kein Unterschied vorhanden, während der Untergrund des beschädigten Bodens immer reicher daran ist als der des unbeschädigten. Diese Zunahme läßt sich nur aus einer Aufnahme von Säure aus der Luft in den Obergrund erklären, aus dem sie in den Untergrund gelangt. Wir dürfen wohl annehmen, daß diese Schwefelsäure an Kalk gebunden ist; dadurch ist der Boden nicht unbedeutend seines Gehaltes an kohlensaurem Kalk beraubt worden. Bei dem Grasboden beispielsweise beträgt die Zunahme im Obergrund 0,167, im Untergrund 0,131 % Schwefelsäure; im ersteren muß eine Verminderung des Gehaltes an kohlensaurem Kalk um 0,21 %, im letzteren um 0,16 % stattgefunden haben. Diese Zahlen veranschaulichen sehr schön, wie ein solcher Boden durch die darauf fallende Säure des kohlensauren Kalkes beraubt werden kann; denn Ackerböden, welche 0,2 % Kalk enthalten, zählen schon zu den besseren Böden[1]).

Wenn man nach dem vorstehenden erwägt, welche großen Mengen Säure im Laufe des Jahres in den Rauchschadengebieten auf den Boden niederfallen, so ist man nicht nur berechtigt, mit einer durch dieselbe hervorgerufenen Bodenveränderung zu rechnen, sondern geradezu gezwungen, es zu tun. Man würde einen großen Fehler begehen, wenn man diese Wirkung auf den Boden ignorieren wollte, und es ist sehr überraschend, daß man sie bisher übersehen hat, obgleich die Untersuchungen über die Einwirkung des Hüttenrauchs auf die Vegetation vorwiegend in den Händen der Chemiker gelegen haben. Durch Düngungsversuche ist der Anteil festzustellen, den der Boden an der Zerstörung der Vegetation nimmt. Es könnte sein, daß dem Boden nicht die ganze Schuld zufällt, wie ich anzunehmen geneigt bin, sondern daß seine nachteilige Beeinflussung die Pflanze nur ganz besonders empfindlich gegen die Säure macht und ihre Widerstandskraft mindert. Ein Anhalt für eine solche Auffassung ist nicht vorhanden, wenn auch wiederholt festgestellt worden ist, daß die Bäume auf schlechtem Boden unter dem Hüttenrauch mehr leiden als auf gutem. Zur Erklärung dieser Erscheinung braucht man seine Zuflucht aber durchaus nicht zu einer besonderen Prädisposition solcher Exemplare für Hüttenrauch zu nehmen, wie es gemeiniglich geschieht — der für die Pflanze schädlich werdende Grad der Verschlechterung muß auf schlechtem Boden eher eintreten als auf gutem. So läßt sich gerade diese Beobachtung ausgezeichnet zugunsten unserer Bodentheorie deuten. Auch die individuellen

[3]) Hansen, Die Vegetation der Ostfriesischen Inseln. Darmstadt 1901, S. 57.

Differenzen bei benachbarten Bäumen dürften sich wohl auf Ungleichheiten in der Bodenbeschaffenheit zurückführen lassen.

Sollten die chronischen Schäden ihre Entstehung einem Zusammenwirken der Bodenverschlechterung und der direkten Beeinflussung der Blätter durch die Säure verdanken, so müßte der Anteil des zweiten Faktors um so bedeutender sein, je näher der betreffende Waldteil der Rauchquelle liegt. In einer bestimmten Entfernung muß dieser Faktor durch die starke Verdünnung der Säure in der Luft gleich Null werden, während die Wirkung auf den Boden andauert, er wird am wirksamsten in unmittelbarer Nähe der Rauchquelle sein, wo sich überdies zu einer chronischen Beschädigung noch akute Beschädigungen durch Zerstörung von Blattsubstanz hinzugesellen werden. Denselben Gang nimmt auch der erste Faktor. Mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle muß die Verschlechterung des Bodens allmählich abnehmen; sie muß sich aber erheblich weiter erstrecken als die schädliche Einwirkung der Säure auf die Blätter, denn für sie kann schließlich nur eine gewisse Konzentration der Säure in der Luft schädigend wirken, während für den Boden jedes Säureteilchen nachteilig wird. Die hohen Kamine, welche dazu bestimmt sind, die Säure durch Verteilung auf einen weiten Raum so zu verdünnen, daß sie den Pflanzen nicht mehr schädlich wird, werden nur den einen Faktor beeinflussen, werden ihren Zweck nur hinsichtlich der Beschädigung der Blattorgane erreichen, hinsichtlich des Bodens nicht. Seine Verschlechterung wird zwar erst später auftreten, sich dafür aber über ein größeres Areal erstrecken.

Wenn unsere Theorie, daß die Verschlechterung des Bodens einen integrierenden Anteil an der Zerstörung der Vegetation in Rauchschadengebieten nimmt, richtig ist, müssen sich auch alle in denselben beobachteten Erscheinungen befriedigend nach derselben erklären lassen. Mit wachsender Entfernung müssen sich die Schäden vermindern. Die Unzersetzbarkeit der abgefallenen Fichtennadeln ist auf die Beschaffenheit des Bodens zurückzuführen. Wir haben gesehen, wie sich das Verfärben der Blattorgane, das Absterben der Bäume vom Wipfel her und der vorzeitige Nadelfall bei der Fichte erklären lassen. Es erübrigt nun noch, zu prüfen, ob auch die unter Einwirkung von Hüttenrauch beobachtete Beeinträchtigung des Höhenwuchses, die ungleiche Widerstandsfähigkeit derselben Baumart in verschiedenen Gebieten und vielleicht gar die Unterschiede in der Resistenz verschiedener Pflanzenarten gegen die Säurewirkung aus einer Verschlechterung des Bodens zu erklären sind.

Kapitel V.

Beziehung zwischen dem Höhenwachstum der Bäume und der Bodenbeschaffenheit.

Die in den Rauchschadengebieten beobachtete Beeinträchtigung des Höhenwachstums läßt sich aus einer direkten Beeinflussung des Längenwachstums durch die Säure, wie aus meinen Versuchen hervorgeht, nicht erklären; es sei denn, daß die Bäume sich ganz anders verhalten als das von mir untersuchte Material, was aber wohl kaum angenommen werden kann. Nur bei so hohen Konzentrationen konnte eine Beeinflussung des Wachstums beobachtet werden, wie sie praktisch ohne Bedeutung sind. Es muß sich also um eine indirekte Wirkung handeln. Die Entwicklung des Baumes wird durch die schlechte Ernährung beeinträchtigt; die Kurve des Längenwachstums fällt infolgedessen zeitiger und schneller ab; der Gesamthöhenwuchs muß geringer bleiben, und eine erhebliche Verlangsamung im Längenwachstum tritt schon zu einer Zeit ein, in welcher unter normalen Umständen noch ein ausgiebiges Wachstum stattfindet. Bewirkt nun diese Verschlechterung des Ernährungszustandes die durch die Säure herabgedrückte Assimilation in Verbindung mit einer Verkleinerung der assimilierenden Blattfläche oder ist die Ursache für die schlechte Ernährung in der Verarmung des Bodens zu suchen?

Zur Beurteilung des Höhenwuchses eignet sich ganz besonders die Fichte mit ihrem pyramidalen Wuchs. Die Beeinträchtigung des Höhenwuchses hat man in verschiedenen Rauchschadengebieten festgestellt. Zwischen dem 30. und 40. Jahre stellt die Fichte das Längenwachstum im Rauchschadengebiet bei Chemnitz ein. Sehr eingehende Untersuchungen über die Wuchsverhältnisse hat Reuß[1]) für das Myslowitz-Kattowitzer Rauchschadengebiet ausgeführt.

Er unterscheidet fünf Grade des Höhenwuchses: übervoll, voll, mittelmäßg, schlecht und fehlend oder scheinbar fehlend. Der erste Grad

[1]) Rauchbeschädigung in dem v. Tiele-Winckler'schen Forstrevier Myslowitz-Kattowitz, Goslar 1893, S. 119.

wird in dem Rauchschadengebiete nirgends erreicht. Die Beeinflussung des Höhenwuchses macht sich bis auf eine Enfernung von über 6 km bemerkbar, wenn als Rauchquelle die Kunigundenhütte angesehen wird, welche nördlich von dem Walde in $^1/_2$ km Entfernung von seinem Rande liegt. Mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle nimmt das Höhenwachstum zu, doch gilt das nicht ganz strenge. Da sind zunächst der westliche und östliche Rand des Waldes, welche in diesen Rahmen nicht befriedigend hineinpassen. Der Südpark und die angrenzenden Partien im Westen leiden mehr als ihrer Entfernung von der Kunigundenhütte entspricht, und ähnlich liegt es für den östlichen Teil des Waldes, den Slupnaer Wald bei Myslowitz. In beiden Fällen dürften noch andere Rauchquellen mitwirken. Es empfiehlt sich deshalb, sich auf den zentralen Teil des Waldes zu beschränken.

Die stärkste Beeinträchtigung des Wachstums findet sich etwa in einer Entfernung von $1^1/_2$ km von der Kunigundenhütte. In Jagen 48 und 25 sind die Bäume nicht mehr in die Höhe gewachsen. Überraschenderweise sind die Wuchsverhältnisse innerhalb der Zone von 1 km günstiger; nach den Ermittlungen in den Jagen 41 und 33c zeigen nur 80% der Stämme keinen Zuwachs.

In der Zone zwischen $1^1/_2$ und 2 km Entfernung ist das Höhenwachstum etwas günstiger als in der Entfernung von $1^1/_2$ km, aber die Zunahme schwankt außerordentlich. In Jagen 47i zeigten 90%, in Jagen 47Aa 20%, in Jagen 32f 30% und in Jagen 18a noch nicht 10% ein Ausbleiben des Zuwachses. Südlicher im Walde ist das Höhenwachstum mit zwei Ausnahmen überall günstiger. Im Jagen 23 zwischen dem 2. und 3. Kilometer und im Jagen 8a in der Entfernung von 5 km wiesen 10% der Bäume keinen Zuwachs mehr auf. Namentlich der zweite Fall ist bei der Weite der Entfernung sehr überraschend. Wenn hier nicht andere Rauchquellen im Spiele sind, muß diese starke Beeinflussung des Wachstums auf den Umstand zurückgeführt werden, daß die Bäume verhältnismäßig alt (70—110 Jahre) und dementsprechend hoch und den Gasen mehr ausgesetzt sind, oder daß der Standort etwas höher liegt.

Bestände mit schlechtem Wuchs erstrecken sich über den sechsten Kilometer. Das Maximum des schlechten Wuchses findet sich zwischen dem dritten und vierten Kilometer mit 100% im Jagen 6Ah (Kattowitz), 5 (Kattowitz), 45d und in Jagen 9, das schon über 4 km von der Kunigundenhütte entfernt ist.

Die Wuchsverhältnisse für die Kilometerzonen vom zweiten bis sechsten Kilometer lasse ich in tabellarischer Zusammenstellung auf S. 324 folgen.

Jagen	Höhenwuchs				Bemerkungen
	nicht %	schlecht %	mittelmäßig %	voll %	
		Zone: 2—3 km			
39	—	80	20	—	
23	10	20	70	—	
17	—	20	80	—	
		Zone: 3—4 km			
37g	—	—	40	60	
30c	—	20	50	30	
15h	—	60	40	—	
10b	—	80	20	—	
21B	—	—	10	90	
		Zone: 4—5 km			
2b (Katt.)	—	80	20	—	
1a „	—	30	50	20	
50b	—	—	40	60	
43a	—	30	—	70	
28Bb	—	50	40	10	
13Ae	—	—	80	20	
		Zone: 5—6 km			
35i	—	20	50	30	
20Aa	—	—	—	100	
19Ad	—	—	20	80	(noch nicht ganz voll)
19Aa	—	20	60	20	
6Aa	—	50	40	10	
8a	10	70	20	—	

Aus den vorstehenden Zahlen geht hervor, daß sich mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle der Höhenwuchs verbessert, wenn auch allerlei Abweichungen auftreten, die vielleicht in der zur Ermittlung des Höhenwuchses angewandten Methode, vielleicht aber auch in der Höhenlage des Standortes oder im Alter der Bestände ihre Ursache haben. Mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle werden die Stämme gleichalter Bestände immer höher.

Ein ausgezeichnetes, sofort in die Augen springendes Beispiel für die Beeinträchtigung des Höhenwuchses bietet in demselben Rauchschadengebiet die Kiefer, und zwar der auf S. 241 erwähnte Bestand aus Jagen 16 im Slupnaer Walde. Er liegt südsüdöstlich von einer Ziegelei, welche an seinem Rande steht und ihn wohl hauptsächlich mit sauren Gasen bedenkt. Unsere Abb. 8 auf S. 242 führt uns den Bestand vor. Auf der linken Seite ist der der Ziegelei zugewandte Rand des Waldes. Hier sind die Kiefern am niedrigsten, um nach rechts mit der Entfernung von der Ziegelei an Höhe zuzunehmen.

Eine Beeinflussung des Höhenwuchses der Bäume, auch der Laubbäume, dürfte man wohl in allen Rauchschadengebieten beobachten, wenn man darauf achtet. Selten aber wird man die Erscheinung in so extremer Weise auftreten sehen wie an den Eichen im Eschweilerer Walde. Zu der Beeinträchtigung des Höhenwuchses gesellt sich hier noch eine durch den Wind veranlaßte charakteristische Veränderung des Habitus der Bäume.

Der Eschweilerer Wald erstreckt sich von Südwesten nach Nordosten zwischen Stolberg und Eschweiler, wie aus unserer Skizze S. 19 hervorgeht. Nähere Angaben über Lage, Bodenverhältnisse und Betriebsart dieses Waldes sind aus der im Anhange wieder abgedruckten Veröffentlichung des Oberförsters Oster zu ersehen. An dem Westrande des Waldes liegt die Zinkhütte Birkengang, welche in erster Linie für die Verwüstungen in diesem Walde verantwortlich gemacht wird. Bei Südwestwind gelangt aller, bei Westwind ein Teil des Rauches der Hütte in den Wald. Beide Windrichtungen sind hier die vorherrschenden. Da das Tal der Inde, in welchem Stolberg liegt, sich ungefähr von Süden nach Norden erstreckt, so kann bei diesen Winden saures Gas auch aus den Essen der teils im Tal, teils auf den Abhängen liegenden Etablissements in den Wald gelangen.

Der eigentümliche Habitus der Eichen, von dem hier die Rede sein soll, wird in dem der Hütte benachbarten Teil des Waldes angetroffen und erstreckt sich etwa auf die Entfernung von 1000 bis 1200 m, wenn man von Birkengang in nordöstlicher Richtung in den Wald hineingeht. Schlägt man mit dieser Entfernung als Radius einen Halbkreis, so erhält man ungefähr sein Verbreitungsgebiet. Es wird genügen, die Verhältnisse an einer einzigen Linie zu verfolgen.

Schon vor 30 Jahren hat Hasenclever diesen eigenartigen Wald in seinem vorderen Teil photographieren lassen und die Aufnahme veröffentlicht[1]). Von wissenschaftlicher Seite hat man bisher wenig oder gar keine Notiz von diesem Waldbilde genommen, obgleich es sich hier um eine Art der Waldverwüstung handelt, welche, soweit mir bekannt ist, nirgends wieder beobachtet worden ist. Unsere beiden Abbildungen 16 und 17 sollen dem Leser eine Vorstellung von diesem Walde geben. Die im Vordergrunde stehenden Bäume stehen etwa auf der oben angenommenen Linie, die Hütte hat man sich in beiden Fällen links zu denken, sodaß die Aufnahme ungefähr von Süden geschah. Die Abbildung 16 führt den Anfang des Waldes, etwa in der Entfernung von 200 Meter

[1]) Über die Beschädigungen der Vegetation durch saure Gase. — Chemische Industrie 1879.

von der Hütte, die Abbildung 17 den Wald in etwas größerer Entfernung, etwa 400 Meter, und darüber, vor. Während der Anfang des Waldes durch das Vorherrschen großer niedriger rasenartig ausgebildeter Eichenbüsche ausgezeichnet ist, haben wir auf dem anderen Bilde das Schlagholz, welches sich hier annähernd zur normalen Höhe erhebt, aber durch die eigentümliche Form der Krone ausgezeichnet ist. Auf der Vorderseite der Stämme ist sie abgestorben und breitet sich schirmartig nach der von der Hütte abgewendeten Seite aus. Dieser fugale Wuchs der Eiche ist in dem Eschweilerer Walde das Charakteristische, und

Abb. 16.
Eschweilerer Wald in der Nähe der Hütte Birkengang mit Eichenrasen im Vordergrund.

es handelt sich darum, wie dieser Wuchs zu erklären ist. Dazu wird es sich aber empfehlen, eine detailliertere Beschreibung der Verhältnisse vorauszuschicken.

An der Südostseite der Hütte führt der Weg von Stolberg nach Birkengang in nordöstlicher Richtung durch den Wald. Der ältere, Stolberg zugekehrte Teil der Hütte ist hier von einer Mauer abgegrenzt, an diesen Teil setzt sich nach Osten hin der neue Teil der Hütte an, welcher sowohl auf der Südostseite wie auf der Ostseite von einem hölzernen Zaun umgeben ist. Innerhalb dieses Hüttengebietes stehen eine hohe und zwei niedrige Essen. Nimmt man nun den Zaun

auf der Ostseite als Ausgangspunkt, so bieten sich nach und nach folgende Vegetationsverhältnisse dar.

Bis auf eine Entfernung von 64 m ist alles absolut kahl, dann stößt man hier und da auf größere oder kleinere Klumpen von Gras, namentlich wo der Boden feucht ist. In der Entfernung von 110 m tritt an einer Stelle neben den Gräsern eine Komposite in größerem Umfang auf. In der Entfernung von 136 m wird unser Weg durch einen kleineren Terraineinschnitt gekreuzt, in welchem Wasser fließt. In diesem Tälchen kommt reichlich Gras und die erste kümmerliche Eiche vor. Es macht

Abb. 17.
Eschweilerer Wald in etwas größerer Entfernung von der Hütte. Eiche mit einseitswendiger horizontaler Krone im Vordergrunde.

mir den Eindruck, als wenn der Boden bis hierher aufgeschüttet worden wäre. Als Oster 1887 den Wald beschrieb, fand er in dieser Region noch Moose, Flechten, Seggen und Brombeeren. Ich habe nichts davon angetroffen. Ob sie allmählich vernichtet, oder ob sie unter der Aufschüttung begraben worden sind, vermag ich nicht zu sagen.

In der Entfernung von 170 m vom Zaun beginnen die Eichenrasen, wie sie unsere Abbildung 16 vorführt. Oster gibt 400 m an. Vermutlich ist diese Entfernung von ihm geschätzt worden, auch hat er wohl einen weiter zurückliegenden Teil der Hütte als Ausgangspunkt genommen. Wie unsere Abbildung erkennen läßt, reicht diese Zone eine Strecke weit

in den Wald hinein. Entsprechend der intensivsten Einwirkung der Säure vermag die Eiche hier nur notdürftig ihre Existenz zu fristen. Der Eichenrasen, welcher im Vordergrunde unserer Abbildung wiedergegeben ist, läßt links den verhältnismäßig dicken Stamm, dem Boden dicht anliegend, erkennen. Er ist in der Richtung von der Hütte weggewachsen; seine Verzweigungen erstrecken sich in derselben Richtung und nach den Seiten hin, während er auf der der Hütte zugewandten Seite vollständig kahl ist. Die nach oben gerichteten Verzweigungen sterben immer wieder bis zu einer bestimmten Tiefe ab, sodaß der Rasen höchstens $^1/_2$ m hoch wird, dabei ist seine Flächenausdehnung sehr erheblich. Einer dieser Rasen hat eine Länge von 3,7, der andere von 4,5 m bei entsprechender Breite. Außerhalb dieser Rasen ist der Boden meistens ganz vegetationslos, unter ihnen wächst Gras, soweit es nicht von den Eichenblättern unterdrückt wird. Unsere Abbildungen sind im unbelaubten Zustande aufgenommen worden; im belaubten Zustande treten die abgestorbenen Zweige noch deutlicher hervor.

Das Terrain zeigt beim weiteren Marsch kleine Unebenheiten, denen sich die Eiche mit ihrem Wuchs anpaßt. Dementsprechend erhebt sie sich bald nur fuß-, bald bauchhoch. An einem Exemplar, wo der Stamm freisteht, ist er etwa einen Fuß hoch. Unter einem rechten Winkel wendet sich die Krone von der Hütte weg und breitet sich horizontal nach der anderen Seite aus.

In der Entfernung von 291 m erheben sich die Bäumchen durchgehends bis Bauchhöhe. Äste und Zweige sind auf der Vorderseite größtenteils abgestorben, die toten, welche viele Jahre alt sein müssen, zum Teil stehen geblieben.

Eine etwas höhere Eiche folgt in der Entfernung von 322 m. Dahinter kommen niedrigere, was vielleicht durch kleine Terrainerhöhungen bedingt sein mag. Unter ihnen finden sich sogar wieder Eichen, welche dem Boden dicht angeschmiegt sind. In dieser Gegend kommen auch vereinzelte Stechpalmen, welche in den Waldungen bei Aachen häufig sind, vor. Unsere Figur 18 zeigt uns ein Exemplar etwa von der Höhe von einem Meter. Man erkennt den verhältnismäßig dicken Stamm und den fugalen Wuchs. Der Stamm ist gleichsam horizontal umgebogen in der Richtung von der Hütte weg. Auf der Vorderseite ist die Verzweigung eine sehr unbedeutende, meistens ist alles abgestorben, während die Belaubung nach der anderen Seite noch ziemlich voll ist.

In der Entfernung von 365 m steht eine Eiche, welche fast bis zur Schulter reicht, auch den charakteristischen fugalen Wuchs zeigt, aber bis auf wenige Blätter ganz abgestorben ist. In der Nachbarschaft finden sich meist ganz niederliegende Eichen.

In der Entfernung von 391 m kommen schon Bäume von über Mannshöhe vor, welche auf der Vorderseite fast ganz abgestorben sind und einen stark fugalen Wuchs besitzen. Ein Beispiel für derartige Bäume ist im Vordergrunde auf der Abbildung 17 sichtbar. Zwischen ihnen treten noch niederliegende Rasen auf.

Wie dieselbe Abbildung erkennen läßt, welche bereits einen Blick in etwas weiter entfernte Teile gestattet, machen sich jetzt die Bäume mit höheren Stämmen, die aber stets den charakteristischen Wuchs aufweisen, bemerkbar. In der Entfernung von 471 m erreichen die Bäume das $1^1/_2$fache von Mannshöhe.

Abb. 18.
Ilex aquifolium mit einseitswendiger Krone aus dem Eschweilerer Walde.

Das Terrain steigt nun wieder. Im wesentlichen immer wieder derselbe Habitus der Bäume. Abweichungen von demselben hauptsächlich durch die gegenseitige Stellung der Bäume bedingt, die hier wenigstens gruppenweise dichter zusammenstehen. Auch erhält die Krone dadurch manchmal ein etwas abweichendes Aussehen, daß der Hauptsproß abgebrochen ist. In der Entfernung von 537 m treten Stämme von doppelter Manneshöhe auf, und hier fängt die eigentümliche fugale Wuchsform der Krone an, sich zu verlieren; es sind wieder einigermaßen normale Verhältnisse vorhanden.

Bis hierher ist die Erscheinung klar und präzise zu verfolgen, wenn man sie auf Hütte Birkengang als Ursache bezieht. Mit wachsender Ent-

fernung eine Zunahme des Höhenwuchses; in allen Fällen ein fugaler Wuchs der Krone, bis auch dieser schließlich dem normalen Platz macht. Was hier für eine Linie ermittelt wurde, muß man sich als in Zonen auftretend denken, welche halbkreisförmig mit der Hütte als Mittelpunkt, mehr oder weniger ausgeprägt an den einzelnen Stellen, dieselbe umgeben. In weiterer Entfernung von der Hütte tritt das Schlagholz der Eiche wieder normalwüchsig auf, aber diese Zone ist doch zunächst von einer etwa einen halben Kilometer breiten Zone unterbrochen, in welcher kleine, bauch- bis mannshohe Bäume vorhanden sind, welche teils stark beschädigt sind, teils den fugalen Wuchs zeigen. Ob es sich hier um einen neuerlichen Abtrieb handelt, wodurch die Eichen an dieser Stelle verhältnismäßig niedrig sind, oder welche Ursachen im Spiele sind, vermochte ich nicht zu entscheiden. Diese Unterbrechung ist nicht imstande, den Hauptcharakterzug in der Vegetation des Eschweilerer Waldes zu verwischen, daß mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle der Höhenwuchs zunimmt. Das wird auch durch das Verhalten der Birke bestätigt, welche jetzt im Walde erscheint, um in seinem hinteren Teile in größerer Zahl aufzutreten. Etwa in der Entfernung von 949 m stehen zwei Birken, von denen die eine 3 m hoch und armdick ist, während die andere bei ungefähr doppelter Mannshöhe die Dicke eines Beines hat. Die Birken zeigen niemals den fugalen Wuchs der Eichen. Mit wachsender Entfernung von der Hütte nimmt der Höhenwuchs der Birken zu und in 2 km Entfernung sieht man hohe Bäume mit absterbenden Wipfeln. Hinter diesen Bäumen wird der Wald von einem von Süden nach Norden verlaufenden Fahrweg durchquert. Auf der andern Seite desselben befindet sich ein Kiefernbestand, welcher für sein Alter keinen normalen Höhenwuchs zeigen soll. Ob sich in nordöstlicher Richtung die Einwirkung des Hüttenrauchs auf den Höhenwuchs noch weiter bemerkbar macht, ist nicht geprüft worden.

Das Verhalten der Eichen im Eschweilerer Walde ist also durch die Hemmung des Höhenwachstums bei Annäherung an die Hütte und durch den eigentümlichen Wuchs der Krone charakterisiert. Beide Erscheinungen lassen sich möglicherweise auf dieselbe Ursache zurückführen. Unverkennbar muß der Wind dabei eine Rolle spielen, denn analoge Erscheinungen treten nur als Windwirkungen auf. Der Habitus unserer Exemplare von Quercus und Ilex erinnert vollkommen an die Bilder von Prunus spinosa und Crataegus oxyacantha, welche Schimper[1]) von der Nordküste von Seeland mitteilt. Einen ähnlichen Habitus nimmt im hohen Norden

[1]) Schimper, Pflanzen-Geographie auf physiologischer Grundlage. Jena 1898. S. 86.

auch die Fichte nach den Beobachtungen von Kihlmann[1]) an, und nach den Veröffentlichungen von Klein[2]) zeigen die windgepeitschten Weidbuchen an hochgelegenen, dem Winde exponierten Lagen im Schwarzwald das gleiche Aussehen. Daß es sich auch bei unseren Pflanzen um eine Windwirkung dreht, wird noch durch zwei Vorkommnisse im Eschweilerer Walde selbst bewiesen.

In früheren Jahren ist im Walde nach Kohlen gegraben worden; daher finden sich in ihm kleine Hügel. Wo nun ein solcher in der Region der rasenartigen Eichen einem Baume Schutz gegen den Wind bietet, erhebt er sich mit seiner Krone bis zu der Höhe des Hügels; alsdann nimmt sie unter der Einwirkung des Windes denselben Wuchs wie die anderen Eichen an. Während die Höhe der rasenartigen Eichen $^1/_2$ m beträgt, kann ein solcher Stamm hinter einem Hügel mannshoch werden. Dementsprechend bleiben die Eichen auf den Hügeln in der Region der mannshohen Eichen niedrig.

Für die Windwirkung ist charakteristisch, daß auf der dem Winde zugekehrten Seite Zweige und Äste eine geringe Ausbildung erfahren oder in extremen Fällen ganz absterben wie z. B. bei den gescherten Fichten[3]) im Mittel- und Hochgebirge. Wie in allen diesen Fällen der Wind den Habitus der Bäume durch ungleiche Beeinflussung des Wachstums verschiedener Baumteile hervorruft, so hemmt er bei ausreichender Stärke schließlich das Wachstum des Gipfeltriebes und setzt damit dem Baumwachstum eine Grenze, so an den stürmischen Gestaden der Nordsee und der Baumgrenze im Gebirge. Nur wo die Bäume vor dem Winde auch an solchen Orten Schutz finden können, ist an ihr Aufkommen zu denken. Im Windschatten von Häusern treten auch an der Nordseeküste Bäume auf. Ebenso kann ein Baum einen Schutz für einen dahinstehenden abgeben. In schöner Weise wird das durch eine Baumgruppe aus dem Wäldchen auf der Insel Sylt illustriert, welche Borggreve[4]) abbildet. Die Bäume, welche dem Winde am meisten ausgesetzt sind, erheben sich nur wenig über die Erde. Die hintereinander stehenden Bäume werden sukzessive immer höher, so daß die ganze Gruppe gegenüber dem Winde von einer krummen Linie begrenzt zu sein scheint. Die Gestalt solcher Baumgruppen erinnert an die der Dünen auf der Windseite. Dieselbe

[1]) Pflanzenbiologische Studien aus Russisch-Lappland. Helsingfors 1890.

[2]) Die botanischen Naturdenkmäler des Großherzogtums Baden und ihre Erhaltung. Festrede d. Techn. Hochschule. Karlsruhe 1904.

[3]) Klein, l. c.

[4]) Über die Einwirkung des Sturmes auf die Baumvegetation. Abhandl. d. Naturwiss. Vereins zu Bremen III. 1872. Abbildung auch bei Schimper l. c. S. 87 reproduziert.

Form tritt vielfach auch an der Krone der isoliert stehenden und dem Wind ausgesetzten Bäume auf. Wie eine Baumgruppe muß sich aber auch ein lückiger Wald wie der Eschweilerer verhalten; er stellt gleichsam nur eine weit auseinander gezogene Baumgruppe dar. Mit wachsender Entfernung müssen die Bäume immer höher werden, während die Form der Krone bis zu einer bestimmten Entfernung die gleiche bleiben wird, um dann allmählich der normalen Platz zu machen.

Wir lassen es vorderhand auf sich beruhen, wodurch der Wind tötend auf Blätter und Achsen einwirkt, sondern beschränken uns darauf, das ungleiche Höhenwachstum der dem Winde ausgesetzten Bäume zu erklären. Infolge der Reibung ist die Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen ungleich; je näher die Luftschichten dem Boden liegen, um so größer ist die Reibung und um so geringer die Geschwindigkeit. In verschiedenen Höhen bewegen sich die Luftteilchen in derselben Zeit ungleich weit und um so weiter, je höher die Luftteilchen vom Erdboden entfernt sind. Haben diese Luftteilchen aus irgend welchen Gründen für die Zweige und Blätter tödliche Eigenschaften, so muß die tödliche Wirkung dieser Luftbewegung von oben nach unten abnehmen, oder es müssen die Bäume mit wachsender Entfernung höher werden. Hieraus erklärt sich das dünenartige Ansteigen der Baumgruppen am Meeresufer und die allmähliche Zunahme des Höhenwachstums unserer Eichen im Eschweilerer Walde.

Die Untersuchungen über die Verzögerung der Windgeschwindigkeit durch die Reibung an der Erdoberfläche sind wenig zahlreich und die hierbei ermittelten Werte haben nur volle Gültigkeit für die Lokalitäten, wo die Untersuchungen ausgeführt worden sind. Nach unserem Maß umgerechnet, führe ich die von Stevenson[1]) bei Edinburg gefundenen Werte an:

Höhe m	Geschwindigkeit für die Sekunde in Metern		
0,15	9,9	4,1	3,1
1,22	11,4	5,5	4,4
2,74	14,1	6,1	4,5
4,27	15,0	6,4	4,6
7,62	16,6	6,7	5,0
15,55	19,1	7,3	5,4

Die vertikal übereinander liegenden Punkte eines Stammes werden von der Luft mit sehr verschiedener Geschwindigkeit getroffen. Nehmen wir etwa die mittlere der drei Geschwindigkeiten, so hat ein Luftteilchen

[1]) van Bebber, Lehrbuch der Meteorologie 1890. Zitiert nach Schimper l. c. S. 84.

in der Höhe von 4,27 m einen Weg von 500, ein Luftteilchen in der Höhe von 15 cm einen solchen von 320 m in derselben Zeit zurückgelegt. Wenn man für die dazwischen stehenden Höhen unter Benutzung der angegebenen Geschwindigkeiten die in derselben Zeit zurückgelegten Wege berechnet, die Wege auf der Abszissenachse, die Höhen auf der Ordinatenachse abträgt und die Endpunkte der Ordinaten untereinander und mit dem Nullpunkt verbindet, so erhält man eine nach der Windseite zu konkave Kurve. Eine ganz analoge Kurve erhalten wir nun, wenn wir mit unseren Eichen ebenso verfahren. Tragen wir auf der Abszissenachse die Entfernungen der Eichen von dem Zaun auf der Ostseite der Hütte als Nullpunkt und auf der Ordinate die Höhen der Bäume ab, so erhält man gleichfalls eine nach der Windseite konkave Kurve, die allerdings langsamer ansteigt als die andere. Daß die beiden Kurven nicht miteinander identisch sind, kann nicht überraschen. Im Eschweilerer Walde sind infolge der kleinen Terrainunebenheiten, des Graswuchses und des Gestrüppes wegen die Windgeschwindigkeiten in verschiedenen Höhen andere als auf Stevensons Versuchsfläche bei Edinburg. Dem langsameren Ansteigen der Kurve im Eschweilerer Walde entspricht eine stärkere Verzögerung der Windgeschwindigkeit durch die Reibung. Legen wir für die Höhe von 4 m die von Stevenson für 4,27 m Höhe ermittelten Geschwindigkeiten von 6,4 und 4,6 m zugrunde, so würden wir im Eschweilerer Walde für die verschiedenen Baumhöhen folgende Werte erhalten:

Höhe m	Windgeschwindigkeit für die Sekunde in Metern	
$^1/_2$	2,0	1,5
1	3,5	2,5
$1^1/_2$	4,4	3,1
2	4,6	3,3
4	6,4	4,6

Die Verzögerung der Windgeschwindigkeit dürfte an der Oberfläche eines mit einer krautigen Vegetation bestandenen Bodens sehr bedeutend und die Ursache sein, daß diese Pflanzen unter dem Winde verhältnismäßig wenig leiden. Es wäre sehr wünschenswert, daß die Meteorologen Bestimmungen über die Windgeschwindigkeiten an der Erdoberfläche ausführten. Annähernd richtige Bestimmungen lassen sich gewiß vielfach aus dem Habitus der Bäume wie in unserem Falle gewinnen.

Auch die Kurve, welche sich in der angegebenen Weise konstruieren ließe, spricht ebenso wie alle anderen oben erwähnten Erscheinungen dafür, daß der Habitus unserer Eichen und der von Ilex seine Entstehung der Wirkung des Windes verdankt. Während die Zunahme des Höhenwuchses mit wachsender Entfernung von der Hütte aus dem vorstehenden

verständlich geworden sein dürfte, erübrigt es noch, der einseitigen Ausbildung der Krone einige Worte zu widmen. Bei starker Windwirkung kommen die Zweige und Äste auf der dem Wind zugekehrten Seite des Baumes nicht zur Entwicklung oder die entwickelten sterben ab, während die horizontal wegwachsenden Teile der Krone erhalten bleiben und weiter wachsen. Vielfach ist die Krone bei unseren Bäumen nicht ganz horizontal gerichtet, sondern etwas gewölbt, und derartige Kronen erinnern durch ihre Form an die Gestalt der Düne. Ebenso wie bei den typischen Windbäumen erklärt sich diese Form daraus, daß diese Kronenteile sozusagen im Windschatten liegen. Wenn der Wind gegen einen Stamm stößt, erfährt die Luft eine Stauung und bewegt sich infolgedessen in einem Bogen über die Krone weg. Verharrt die Luft hinter dem Stamm und in der Krone auch nicht in voller Ruhe, so hört doch wenigstens die fortschreitende Bewegung der Luft auf und damit ist ihre schädliche Wirkung gebrochen. Aus der relativen Windstille in der Krone erklärt es sich, daß die der Richtung des Windes abgekehrte Seite des Baumes verhältnismäßig stark belaubt sein kann, während die entgegengesetzte Seite vollständig kahl ist. Meiner Ansicht nach sind die Windverhältnisse ausreichend, um auch die Erscheinung der gescherten Fichten zu erklären, und es ist nicht notwendig, wie Klein will, die Wärme als mitwirkenden Faktor in Anspruch zu nehmen[1]).

Die schädliche Wirkung des Windes besteht in einer nachteiligen Beeinflussung der Wasserabgabe aus den Organen des Baumes, und zwar ist diese Wirkung etwas verschieden, je nachdem, ob es sich um in Entwicklung begriffene oder um ausgewachsene Organe handelt. Durch den Wind wird vor allen Dingen die Transpiration gesteigert. Indem die Luft, welche die Organe umgibt, in kürzeren Intervallen erneuert wird, muß die Wasserabgabe, so weit sie nach rein physikalischen Gesetzen vor sich geht, bedeutender werden, als bei langsamerer Luftbewegung. Durch die beständige Erneuerung der Luftteilchen, welche an den Organen vorbeistreichen, vermag selbst eine relativ feuchte Luft denselben noch beträchtliche Mengen Wasserdampf zu entziehen. Um diesem gesteigerten Transpirationsbedürfnis zu genügen, ist eine größere Wasserzufuhr zu den Organen erforderlich, als an Orten mit geringerer Windgeschwindigkeit oder mit feuchterer Luft. Bei gleicher Wasserzufuhr müssen aber die in Ausbildung begriffenen Organe kleinere Dimensionen annehmen, da hier von der Flächeneinheit größere Mengen Wasser abgegeben werden. Die Achsen werden an solchen Standorten ein geringeres Längenwachstum und die Blätter ein geringeres Flächenwachstum aufweisen. Die Größe der Organe

[1]) Charakterbilder mitteleuropäischer Waldbäume I.

muß sich immer, wenn keine anderen Momente mitwirken, als eine Anpassung an die Wasserzufuhr und Wasserabgabe ergeben. In extremen Fällen wird der Zuwachs gleich Null werden, d. h. auf der dem Winde zugekehrten Seite des Baumes entwickeln sich keine Organe oder es findet überhaupt kein Wachstum mehr statt.

Innerhalb gewisser Grenzen darf man die Verhältnisse auch umkehren. Bei konstanter Windgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit werden dieselben Erscheinungen auftreten müssen, wenn aus irgend welchen Gründen die Zufuhr von Wasser vermindert wird. Ist in einer bestimmten Gegend der Baumwuchs an die dort herrschenden klimatischen Verhältnisse angepaßt, so werden die Organe der Bäume sich kleiner als üblich ist ausbilden müssen, wenn einem Baume durch irgend welche Umstände die Wasserzufuhr teilweise abgeschnitten wird.

Nach dem Gesagten entwickeln sich die Organe in direkter Abhängigkeit von den Wasserverhältnissen der Pflanze; sie sind also angepaßt an die zur Zeit ihrer Entwicklung herrschenden Verhältnisse. Nun braucht die Windstärke und die Luftfeuchtigkeit nicht während der ganzen Vegetationsperiode die gleiche zu sein. Hat sich etwa ein Blatt bei etwas geringerer Windgeschwindigkeit oder bei gleicher Windstärke aber feuchterer Luft entwickelt, so kann es bei etwas stärkerer Windstärke oder trocknerer Luft leiden. Es kann zum Absterben von Blattpartien, von Blättern und schließlich von beblätterten Zweigen kommen. Ein derartiges Absterben von Zweigen in geringem Umfange kommt auch an den Eichen im Eschweilerer Walde vor. Früher nahm man an, daß es sich bei dem Absterben der Blätter um eine so starke Steigerung der Transpiration handelte, daß die Zellen getötet würden, und daß das Blatt vertrocknete. Nach Hansens[1]) Untersuchung soll es sich bei diesem Vorgang aber gleichsam um eine Unterbindung der Transpiration handeln. Die letzten Verzweigungen der Gefäßbündel werden durch den Wind ihres Wassers beraubt, ihre wasserleitenden Elemente werden unfähig zur Wasserleitung und können die zu ihnen gehörigen Blattpartien nicht mehr mit Wasser versorgen. Das Gewebe stirbt ab und vertrocknet.

Die Wuchsverhältnisse der Eichen und von Ilex im Eschweilerer Wald sind vollständig als Windwirkung begreifbar und man würde kein Bedenken tragen, sie ausschließlich dem Wind in die Schuhe zu schieben, wenn dieser Wald in der Nähe der Meeresküste oder hoch oben im Gebirge stände, nur an der Stelle, wo die Erscheinung beobachtet wird, ist sie so sehr überraschend. Wenn der Wald auch den vorherrschenden

[1]) Experimentelle Untersuchungen über die Beschädigung der Blätter durch Wind. Flora 93. Bd. 1903, S. 43.

Südwest- und Westwinden ausgesetzt ist, so ist er es doch nicht in höherem Maße als die benachbarten Waldungen, als die Probstey, der Reichswald, der Atscher Wald und die östlichen Teile des Eschweilerer Waldes. Es müssen ganz besondere Bedingungen vorliegen, wenn sich an dieser Stelle die eigentümlichen Windformen entwickeln können. Daß es sich um eine Windwirkung handelt, ist unzweifelhaft; es ist nur zu entscheiden, ob der Wind durch seine spezifische Wirkung vernichtend wird oder als Träger eines Giftes, des sauren Gases. Die Giftteilchen müssen denselben Weg wie die Luftteilchen nehmen, und es müßte dieselbe Wuchsform wie bei einer reinen Windwirkung resultieren, wenn sie die Ursache wären. Es müßte alsdann die schweflige Säure, welche hier in Frage kommen kann, in ansehnlicher Menge aus den Essen der Hütten entweichen. In der Tat kann man zuweilen den Qualm im Walde liegen sehen und die Gegenwart saurer Gase durch die Nase und die Respirationsorgane feststellen. Werden die Gase von den Südwestwinden über den Wald hingetrieben, und sind sie in ausreichender Menge vorhanden, so ist es verständlich, daß die von ihr betroffenen Bäume leiden. Die schädigende Wirkung wird mit wachsender Entfernung von der Hütte abnehmen und dementsprechend der Höhenwuchs der Bäume zunehmen. In der Nähe der Hütte trifft man stark beschädigte Blätter an und die Destillation derselben ergibt einen verhältnismäßig hohen Gehalt an schwefliger Säure. Dennoch läßt es sich nicht erweisen, daß die schweflige Säure die Ursache der Wuchsverhältnisse ist; es lassen sich einige Tatsachen anführen, welche dagegen sprechen. Zunächst muß darauf hingewiesen werden, daß durch Diffusion Säure auch in den vom Wind abgekehrten Teil der Krone gelangen und hier wirksam werden muß, wovon jedoch nichts zu spüren ist. Ein anderer gewichtiger Einwand scheint mir der zu sein, daß, wenn die Säure diese Wuchsverhältnisse hervorruft, sie auch an anderen Orten beobachtet werden müßten. Aber in der Probstey, wo gleichfalls starke Rauchschäden auftreten und die Winde wohl nicht minder heftig wehen, sind bisher solche Wuchsverhältnisse nicht wahrgenommen worden. Auch in der Rauchschadenliteratur ist nichts derartiges beschrieben und auf dem Burgberg bei Letmathe, wo Eichenschlagholz steht, sind höchstens schwache Andeutungen der Erscheinung vorhanden. Aus einer direkten Wirkung der schwefligen Säure auf die Blattorgane scheint mir die Wuchsform nicht ausreichend erklärt werden zu können. Es muß sich noch ein weiterer Faktor dazu zugesellen.

Man kommt wieder auf die spezifische Windwirkung zurück. Blattorgane gehen nur dann zugrunde, wenn zwischen ihrem Wasserverlust und ihrer Wasserversorgung ein Mißverhältnis eintritt. Nur an den dem Winde besonders exponierten Lagen pflegt das der Fall zu sein; auf den

gewöhnlichen Standorten können die Bäume selbst bei heftigen Winden, wie die umliegenden Wälder bei Stolberg beweisen, ihren Bedarf an Wasser noch befriedigend decken. Wenn also der Wuchs unserer Bäume aus dem Eschweilerer Walde auf ein Mißverhältnis zwischen der Wasserabgabe und der Wasseraufnahme zurückzuführen sein soll, so ist das nur so möglich, daß bei gleichbleibender Wasserabgabe die Wasseraufnahme sich verändert hat. Eine derartige Erschwerung der Wasseraufnahme kann aber nur mit einer Veränderung der Bodenbeschaffenheit zusammenhängen. Daß die Bodenbeschaffenheit sich in diesem Teil des Waldes erheblich verschlechtert haben muß, bedarf kaum eines Beweises. Wie aus unseren Abbildungen zu ersehen ist, stehen die Bäume sehr weit auseinander; der zwischen ihnen liegende Boden ist den Unbilden der Witterung ausgesetzt und wird dadurch schon verarmen müssen. Zwischen den rasenartigen Eichen in der Nähe der Hütte ist der Boden vollständig vegetationslos, in etwas größerer Entfernung ist er wenigstens mit Gras bedeckt. Wir haben es also sicher mit einem nährstoffarmen Boden zu tun, was die Gegenwart freier Humussäure (siehe S. 303) bestätigt. Ist durch die veränderte Bodenbeschaffenheit die Wasserversorgung der Bäume herabgedrückt, so entbehren sie andererseits gegen starke Transspiration durch den Mangel der gegenseitigen Deckung eines Schutzes. Unter diesen Umständen dürfen wir uns nicht wundern, hier typische Windbäume zu finden. Meiner Ansicht nach ist also ihr charakteristischer Wuchs auf die transpirationssteigernde Wirkung des Windes zurückzuführen; in der Nähe der Hütte kann vielleicht auch die Säure mitwirken. Ob die absolute Höhe der Bäume lediglich von der Transpiration oder auch von dem Mangel an mineralischen Nährstoffen im Boden abhängt, ist ohne Untersuchung nicht zu entscheiden, da sich beide Faktoren wahrscheinlich aufs engste verbinden.

Ein ausgezeichnetes Beispiel, daß und in welcher Weise die Eichen unter einer Verschlechterung des Bodens leiden, wird von P. E. Müller[1]) aus den in Verfall geratenden Eichenwaldungen in Jütland, aus Öster-Langskov bei Hald angeführt. An dem nach Südwesten gekehrten und an die Heide grenzenden Rand des Waldes sterben die Bäume unter der Wirkung des Windes ab. Müller bildet in Fig. 13 einen solchen Waldrand ab. Auch hier erkennt man wieder, wie die Beschädigung der Bäume abnimmt, je mehr man sich von dem äußersten, dem Winde ausgesetzten Baume entfernt. Die Stämme sind abgestorben, aber die Eichen schlagen aus dem Wurzelstock wieder aus und bilden Büsche von nur unbedeutender

[1]) Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden. Berlin 1887, S. 130 usw.

Höhe, die »Krattbüsche« (Müller, S. 144, Fig. 14). In dieser Form können die Eichen lange vegetieren und halten sich auch an anderen Stellen mitten in der Heide. Da sie nach wie vor dem Winde ausgesetzt sind, so vermögen sie demnach in diesem Zustande den Ansprüchen der Wasserabgabe zu genügen. Das Absterben der Eichen bis auf diese Überreste unter den obwaltenden Windverhältnissen beweist, daß die Bedingungen für die Wasseraufnahme aus dem Boden sich geändert haben müssen. Früher konnten bei der gleichen Windstärke Bäume von bedeutender Höhe bestehen; wenn das jetzt ausgeschlossen ist, so kann es sich nur um eine Erschwerung der Wasseraufnahme durch die veränderte Bodenbeschaffenheit handeln. Mit vollem Recht sieht Müller denn auch in dem Winde — im Gegensatz zu der herrschenden Meinung — nur das Mittel, mit welcher die Zerstörung ins Werk gesetzt wird, die Ursache derselben aber in den Veränderungen, welche der Boden erfährt. Der ursprüngliche Mullboden geht in einen Torfboden über, und unverkennbar ist diesem das Wasser schwerer zu entziehen. »Der Verfall des Eichenwaldes und seine Umwandlung in Heide ist daher nicht bloß der direkten Einwirkung des Westwindes auf die Bäume, sondern auch einer sehr bedeutenden und der Waldvegetation verderblichen Umwandlung des Bodens zuzuschreiben«[1]). Die Veranlassung zu dieser Bodenveränderung scheint Müller in einer durch Zufälligkeiten veranlaßten »geschwächten Beschattung und Beschirmung des Bodens« zu erblicken. Es dringen dann allmählich Heidelbeeren, später die Bärentraube und endlich Heidekraut und Rauschbeerbüsche ein. »Der Heidelbeere und dem Heidekraut folgt die Torfbildung auf dem Fuße nach«[2]). Die Natur hat uns hier gleichsam durch ein Experiment im großen gezeigt, daß die Bodenveränderung zu einer erschwerten Wasseraufnahme führt, da das Terrain von Pflanzen besiedelt wird, welche an die Wasseraufnahme, wie ihre xerophile Struktur verrät, geringere Anforderungen stellen als die Vegetation, welche vorher hier heimisch war. Will die Eiche sich an solchen Stellen behaupten, so muß sie ihre transpirierende Blattmasse soweit reduzieren, daß ihre Wasserabgabe durch die Wasseraufnahme gedeckt werden kann.

Dies Beispiel zeigt deutlich, wie durch eine Verschlechterung der Bodenbeschaffenheit der Habitus und der Wuchs der Eichen beeinflußt werden kann, und, da auch im Eschweilerer Walde sichere Anhaltspunkte für eine Verschlechterung vorhanden sind, ist es sehr wahrscheinlich, daß die analogen Erscheinungen auf diese Bodenverschlechterung zurückzuführen sind. Wie das reichliche Vorkommen von freier Humussäure und das

[1]) l. c. S. 150.
[2]) l. c. S. 151.

Ausbleiben von Vegetation zwischen den Eichenbüschen zeigt, ist durch die Säure, welche aus der Luft auf den Boden gelangt ist, der Boden wesentlich verschlechtert worden und in um so höherem Grade, je mehr die betreffende Stelle der Hütte genähert ist. Höhenwuchs und Grad der Bodenverschlechterung gehen vollständig parallel. Ich neige der Ansicht zu, daß es wesentlich diese ist, welche die Wuchsverhältnisse unserer Bäume verschuldet, und daß die schweflige Säure, welche die Blätter trifft, nur untergeordnet und eventuell gar nicht an dem Zustandekommen der Wuchsform beteiligt ist. Eine Entscheidung läßt sich auch hier nur durch Ausschaltung des Bodeneinflusses herbeiführen, indem man zweckentsprechend düngt; denn eine Mitwirkung kommt dem Boden mindestens zu.

Unter demselben Gesichtspunkte, wie die Exemplare von Eiche und Ilex aus dem Eschweilerer Walde, sind auch die oben erwähnten Kiefern aus dem Slupnaer Walde bei Myslowitz zu beurteilen. In der Nähe der Ziegelei am Waldrande sind die Kiefern, wie auch auf unserem Bilde S. 242 zu ersehen ist, niedrig, sie nehmen mit der wachsenden Entfernung an Höhe zu. Auch hier muß natürlich die Verschlechterung des Bodens denselben Gang gehen und um so bedeutender sein, je näher die Bäume der Rauchquelle stehen. Wenn die Verschlechterung des Bodens auch nicht durch besondere Versuche festgestellt worden ist, so darf sie doch mit Sicherheit aus den gesamten lokalen Verhältnissen und aus dem Umstande gefolgert werden, daß sich der Boden in anderen Jagen dieses Rauchschadengebietes als humussauer erwiesen hat.

Vergegenwärtigt man sich das Verhalten der einzelnen Exemplare des von Müller geschilderten in Verfall geratenen Eichenwaldes, so kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, daß das Absterben der Bäume vom Wipfel her auch auf die Bodenverschlechterung zurückzuführen ist. Verschlechtert sich in den beräucherten Waldungen der Boden in analoger Weise wie in den von Müller geschilderten Fällen — das Auftreten freier Humussäure spricht für eine große Übereinstimmung — so muß mit Naturnotwendigkeit die Bäume dasselbe Schicksal wie dort ereilen. Ist obendrein ihre Stellung derartig, daß sie stark vom Winde getroffen werden, so werden sie besonders leiden und eher absterben. Auf die Windwirkung ist es zurückzuführen, daß die Oberständer, welche ihre Krone über das Laubdach des Waldes emporheben, besonders zeitig im Wipfel kahl werden. Indem die Luft gegen den Wald fährt, staut sie sich und bewegt sich infolgedessen in einem Bogen über das Laubdach des Waldes hin. Hier bleiben die Kronen in einer verhältnismäßig ruhigen und damit feuchten Luft, während der Wind seine transpirationssteigernde Wirkung auf diejenigen Bäume geltend macht, welche ihre Krone über dieses Laubdach erheben. Der Wind steigert, worauf früher noch nicht

hingewiesen wurde, nach den Untersuchungen von Baranetzky[1]) durch die Erschütterung der Blätter die Wasserabgabe. Ist nun den Bäumen durch Verschlechterung des Bodens die Wasseraufnahme erschwert, so sind sie der früheren Transpirationsleistung nicht mehr gewachsen und der Wipfel wird allmählich absterben. Es wird von der Natur der betreffenden Baumart und der jeweiligen Stellung des einzelnen Exemplars abhängen, ob es nur bis zum Niveau des Walddaches oder allmählich ganz abstirbt. So läßt sich ganz zwanglos das Kahlwerden und Absterben der hohen Bäume aus einer Bodenverschlechterung erklären, ohne daß man seine Zuflucht zu einer direkten Einwirkung der Säure auf die Blätter nehmen muß. Andererseits kann man sich nicht verhehlen, daß wenn es sich bei der Zerstörung der Vegetation lediglich um eine Wirkung der Säure auf die Blätter handeln sollte, auch die über das Laubdach des Waldes hervorragenden Kronen am meisten leiden müssen, da ihnen durch den Wind am meisten Säure zugetrieben wird.

Nur als eine Transpirationssteigerung und nicht als eine direkte Wirkung der Säure auf die Nadeln möchte ich die folgenden Beobachtungen von Baltz[2]) auffassen: »Auf den früher zu landwirtschaftlichen Zwecken benutzten Flächen sind die Fichtenpflanzungen vor drei und vier Jahren mit vier- bis fünfjährigen verschulten Pflanzen ausgeführt, die teilweise aus hiesigen, teilweise aus fremden Kämpen stammen. Das Verhalten aller im Rauchstrich stehenden Pflanzen war überall gleich; im ersten Jahre verloren dieselben die Nadeln zum größten Teil und auch in der darauf folgenden Zeit, in besonders auffälliger Weise aber immer erst dann, nachdem sie im Sommer von dem sie auf dem kräftigen Boden bedrohenden üppigen Graswuchs befreit waren. Wenngleich ältere und ballenlos verpflanzte Fichten sozusagen überall in den ersten zwei bis drei Jahren nach dem Verpflanzen nicht das lebhafteste Wachstum entfalten, und diese Eigentümlichkeit auch hier zum Ausdruck gekommen ist, so läßt sich aber doch mit Bestimmtheit erkennen, daß die krankhafte Erscheinung des Nadelabwerfens nach vorheriger Rötung nicht auf die mit der Veränderung des Standortes verbundenen Wachstumsstörungen zurückzuführen ist, sondern auf die Rauchwirkung allein; insbesondere kann dieses aus dem Umstande gefolgert werden, daß jedesmal unmittelbar nach der Freistellung die Nadeln rot wurden und abfielen.

Auf Grund dieser Beobachtungen ist das Freischneiden der Fichten im vergangenen Sommer unterlassen und nur an denjenigen Stellen das Gras etwas niedergetreten, wo eine Überlagerung stattgefunden hatte. Das

---

[1]) Bot. Ztg. 1872, S. 65.

[2]) Rauchschaden am Walde. Deutsche Forstzeitung, 15. Bd., 1900, S. 153.

Resultat war das erwartete, denn, ohne vom Rauch ganz verschont zu bleiben, zeigen die Fichten durchweg ein frisches und gesundes Aussehen.

Danach muß angenommen werden, daß das die Fichten einhüllende Gras diesen einen wirksamen Schutz hat angedeihen lassen, da die immer gleichbleibende Rauchwirkung selbst an den im Frühjahr eben entfalteten frischen, weichen Nadeln nur wenig sichtbare Spuren hinterlassen hat, die sich in anderen Fällen, namentlich an den unter ganz gleichen Verhältnissen lebenden Fichten der Figur 2 durch eine tiefe Bräunung, besonders auf der der Rauchquelle zugewendeten Seite deutlich zeigten. Um so mehr ist man berechtigt, dem Gras die schützende Wirkung zuzuschreiben, da die in einem offenen Buchenbestand als Unterbau vorhandenen gleichalterigen Fichten, die nur von kurzem Beerkraut umgeben sind, sonst aber unter günstigen Wachstumsbedingungen stehen, wieder, wie in allen anderen Jahren, Beschädigungen aufzuweisen haben.«

Solange die Fichten selbst oder wenigstens der Boden, auf dem die Fichten standen, mit Gras bedeckt waren, litten sie wenig, dahingegen stark, als dies beseitigt wurde. Eine Freistellung der Bäume, ohne daß der Boden vom Grase befreit wurde, schadete ihnen nichts. Aus diesem Verhalten geht hervor, daß das Gras nicht etwa den Zutritt der Säure abhält, denn dann müßten die Fichten auch leiden, wenn sie freigestellt werden und das Gras niedergetreten wird. Vielmehr leiden sie bei Entfernung des Grases nur deshalb, weil der Boden austrocknet und die Fichten die für ihre Transpiration erforderliche Wassermenge demselben nicht entziehen können. Ein Teil der Nadeln stirbt ab, färbt sich dabei rot und fällt ab. Das Auftreten der roten Farbe ist in diesem Fall keine Wirkung der Säure in der Luft.

Werden Bäume, welche eine bestimmte Entfaltung erreicht haben, durch eine Verschlechterung des Bodens infolge der Einwirkung von sauren Gasen auf denselben zum Absterben gebracht, so muß sich natürlich diese Bodenverschlechterung auch auf die in Entwicklung begriffenen Bäume fühlbar machen. Zunächst wird sie in einer Hemmung des Höhenwuchses ihren Ausdruck finden. Es ist bekannt, daß dasselbe für ein und dieselbe Baumart auf Böden verschiedener Bonität sehr ungleich verläuft. Nach den Untersuchungen von Baur erreicht die Fichte mit 120 Jahren im Durchschnitt mit abnehmender Bonität des Bodens eine Höhe von 35, 28, 21 und 16 m[1]). Je günstiger der Ernährungszustand ist, um so höher werden die Bäume. Feuchtigkeitsverhältnisse und Nährstoffgehalt des Bodens dürften im allgemeinen für die Entfaltung und den Höhenwuchs der Bäume entscheidend sein. Das Höhenwachstum verläuft in einer

[1]) Zitiert nach Schwarz, Forstliche Botanik. Berlin 1892. S. 160.

Kurve. Das Maximum des Zuwachses liegt für die Fichte auf dem Boden erster Bonität im dritten Dezennium, auf dem Boden zweiter, dritter und vierter Bonität im vierten Dezennium. Mit 40 Jahren hat die Fichte eine Höhe erreicht auf dem Boden.

1. Bonität von 15,1 m
2. „ „ 10,7 „
3. „ „ 8,0 „
4. „ „ 6,1 „

Wenn nun im Laufe des Wachstums der Bäume eine Verschlechterung des Bodens eintritt, so muß sich auch das Wachstum ändern; es muß gleichsam dem Wachstum auf einer schlechteren Bodenbonität entsprechen. Je nach dem Grade der Bodenverschlechterung und dem Alter, in welchem sich die wachsenden Bäume befinden, wird sich der Zuwachs richten, der natürlich auch auf Null herabsinken kann. Oben sind die Wachstumsverhältnisse der Fichten im Myslowitz-Kattowitzer Rauchschadengebiet an der Hand der Reuß'schen Ermittelungen dargelegt und ist gezeigt worden, daß mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle das Höhenwachstum allmählich zunimmt, nachdem es in der Nähe der Rauchquellen schlecht geworden oder gar ausgeblieben war. Daß man berechtigt ist, auch in diesem Falle die Ausgiebigkeit des Höhenwuchses mit der Bodenbeschaffenheit in Zusammenhang zu bringen, erhellt aus dem Umstande, daß die Böden stark humussauer sind, was auf eine bedeutende Veränderung des Bodens hindeutet.

Jagen		100 g organ. Substanz des Bodens liefern mg CO_2	Höhenwuchs			
Heutige Bezeichnung	Bezeichnung bei Reuß		nicht %	schlecht %	mittelmäßig %	voll %
Südpark	9	2204	60	40	—	—
12	4b	1698	—	—	—	—
8	1	1892	—	30	50	20
22	41	2734	80	20	—	—

Soweit die Bestimmungen der Humussäure in den Jagen ausgeführt worden sind, in denen Reuß seine Messungen angestellt hat, läßt sich eine Beziehung zwischen dem Gehalt an Humussäure und der Zuwachsgröße der Bäume feststellen. Im Jagen 1 haben wir verhältnismäßig den geringsten Gehalt an Humussäure, hier sind die Bäume auch noch am besten gewachsen. Die Zahl der nichtwüchsigen Stämme nimmt mit dem Gehalt der Humussäure im Boden zu. Wenn nun auch zehn Jahre zwischen den Messungen von Reuß und meinen Bestimmungen liegen, so lassen sich dieselben doch gut miteinander vergleichen, da das Verhältnis in der Ver-

schlechterung der Böden immer das gleiche gewesen sein muß. Indem der Boden mit der wachsenden Entfernung von der Rauchquelle weniger von Säure getroffen wird, muß die Verschlechterung im umgekehrten Verhältnis zur Entfernung stehen, während die Zunahme des Höhenwuchses der Fichte im direkten Verhältnis steht.

Vermutlich liegen die Verhältnisse für die Fichten in dem Rauchschadengebiet bei Chemnitz i. S., wo sie zwischen dem 30. und 40. Jahre aufhören zu wachsen oder nur einen sehr geringen Zuwachs haben, ebenso.

Aus der vorstehenden Erörterung der Wuchsverhältnisse von Eiche und Ilex im Eschweilerer Walde und der Fichte und Kiefer in den Waldungen bei Myslowitz-Kattowitz dürfte hervorgehen, daß sich die Beeinträchtigung des Höhenwuchses unter Einwirkung von Hüttenrauch sehr befriedigend aus einer Bodenverschlechterung erklären läßt.

Kapitel VI.

Die Resistenz der Gewächse.

In einem früheren Kapitel habe ich darauf hingewiesen, daß man die Resistenz der Pflanzen von der Resistenz ihrer Organe gegen schweflige Säure unterscheiden muß, da jene nicht von dieser abhängig ist. Die Pflanze hat in höherem oder geringerem Grade die Fähigkeit, abgestorbene Organe zu ersetzen, und von dieser Fähigkeit wird in erster Linie ihre Resistenz abhängen. Ist diese sehr groß, wird sie eine geringe Widerstandsfähigkeit ihrer Organe unbeschadet in den Kauf nehmen können. Die Widerstandsfähigkeit der Organe, besonders der Blattorgane, welche fast ausschließlich bisher in Betracht gezogen wurden, ist demnach kein Maß für die Resistenz der Gewächse. Wie wir gesehen haben, sind die krautigen Gewächse weniger empfindlich, als die Holzgewächse; sie erscheinen auch widerstandsfähiger als diese. Aber hierbei vergleicht man Inkommensurables miteinander, indem die Feldfrüchte jährlich auf gut bearbeitetem Boden aus Samen erzogen werden, während die Holzgewächse viele Jahre unter ungünstigen Verhältnissen auf demselben Fleck ausharren müssen. Man könnte also nur die Holzgewächse untereinander auf ihre Resistenz vergleichen. Schon v. Schroeder und Reuß[1]) haben auf Grund der vorhandenen Beobachtungen und ihrer eigenen Erfahrungen eine Resistenzreihe der Holzgewächse aufgestellt, welche noch heute als richtig betrachtet wird und von Haselhoff und Lindau wieder abgedruckt worden ist[2]). Nach dieser Resistenzreihe sind die Nadelhölzer am wenigsten widerstandsfähig, die Laubhölzer widerstandsfähiger. Es hat sich nun die Vorstellung herausgebildet, als ob die Nadelhölzer weniger widerstandsfähig als die Laubhölzer wären, weil sie immergrün sind. „Bei dem Nadelholz summiert sich die das ganze Jahr hindurch hervorgebrachte Schädigung, und das kranke Blatt wird dadurch untauglich, in der kommenden Vegetations-

[1]) l. c. S. 303.
[2]) l. c. S. 118.

periode seinen normalen Funktionen zu genügen.“ Diese Erklärung von Haselhoff und Lindau[1]) muß unrichtig sein, da sie ganz außer acht läßt, daß es auch sommergrüne Nadelhölzer gibt. Nach Baltz[2]) ist die Lärche empfindlicher als Kiefer und Tanne, und in der Probstey soll die Lärche von allen Nadelhölzern die geringste Widerstandsfähigkeit besitzen. Die geringere Widerstandsfähigkeit der Nadelhölzer muß also eine andere Ursache haben.

Vergleicht man die Nadelhölzer unter sich, so gehen die Ansichten über die Widerstandsfähigkeit in verschiedenen Gegenden auseinander. Nach Haselhoff und Lindau[1]) folgen in aufsteigender Reihe Tanne, Fichte und Kiefer; sie vermuten, daß die Lärche an vierter Stelle steht. Nach Baltz[2]) haben wir folgende Skala mit abnehmender Empfindlichkeit: Fichte, Weimutskiefer und Lärche, gemeine Kiefer und Tanne, Schwarzkiefer. Im Chemnitzer Rauchschadengebiet soll sich die Lärche besser als die Fichte halten, während sie im Probsteywalde bei Stolberg die geringste Widerstandsfähigkeit aufweist. Diese abweichenden Ergebnisse deuten darauf hin, daß dieselbe Baumart sich gegen Rauch sehr verschieden verhalten kann, und dafür werden wir wohl den Grund in der jeweiligen Bodenbeschaffenheit suchen müssen. Wenn es demnach eine allgemein gültige Resistenzreihe für die Nadelhölzer nicht gibt, werden wir erwarten dürfen, daß auch die von v. Schroeder und Reuß für die Laubhölzer aufgestellte Skala nicht absolut zutrifft. Das läßt sich nun leicht für die Waldbäume und zwar für die Buche, Eiche und Birke zeigen. Über die anderen von unseren Autoren in ihrer Resistenzreihe aufgeführten Bäume stehen mir keine Beobachtungen zur Verfügung. Die Eiche soll mit Ausnahme des Spitzahorns die allerwiderstandsfähigste Baumart sein, während die Buche unmittelbar hinter den Nadelhölzern folgt. Auch die Birke soll nach v. Schroeder und Reuß wenig widerstandsfähig sein. Wir werden sehen, daß diese Angaben nicht allgemein zutreffen.

In welchem hohen Grade v. Schroeder und Reuß von der Richtigkeit ihrer Resistenzskala überzeugt gewesen sind, erhellt aus folgender Äußerung: „Leiden z. B. in einer Gegend die Kiefern mehr als die Fichten oder die Eichen mehr als die Rotbuchen, so kann man von vornherein annehmen, daß man es entweder gar nicht mit Raucheinflüssen zu tun hat, oder daß doch wenigstens sehr wesentliche anderweitige schädigende Umstände mit in Betracht kommen, welche das normale Verhalten der einzelnen Pflanzenarten gegen saure Gase oder Hüttenrauch abzuändern

---

[1]) l. c. S. 115.

[2]) Rauchschaden am Walde. Deutsche Forst-Zeitung 15. Bd. 1900. S. 172.

imstande sind[1])." Oster[2]) wies darauf hin, daß die Beziehung zwischen Buche und Eiche im Stolberger Rauchschadengebiet eine andere sei als v. Schroeder und Reuß annahmen, und Danckelmann[3]) hat in einem Gutachten bestätigt, daß die Eichen im Probsteywalde weniger widerstandsfähig sind als die Buchen. Ferner hat Schier[4]) im Chemnitzer Rauchschadengebiet beobachtet, daß „die Buche unter den vorhandenen älteren wie jüngeren Laubhölzern das allerbeste Gedeihen aufweist, während die Eichen erheblich weniger widerstandsfähig waren". Also ähnliche Verhältnisse wie im Probsteywalde! Übrigens wird auch aus anderen Gegenden über die geringe Widerstandsfähigkeit der Eichen berichtet, so aus Lancashire in England, wo die alten Eichen unter der Einwirkung des Rauches sehr bald absterben sollen[5]). Die Annahme einer sehr großen Widerstandsfähigkeit der Eichen rührt unverkennbar daher, daß Stockausschlag sich in großer Nähe der Hütte halten kann, so bei der Clausthaler Silberhütte, auf dem Burgberg bei Letmathe und bei der Hütte Birkengang im Eschweilerer Walde. Es ist aber unzulässig, aus dem Verhalten des Stockausschlages Schlüsse auf das Verhalten der Hochstämme zu ziehen, was am besten durch das Beispiel von Letmathe illustriert wird. Nach den Angaben von Haselhoff und Lindau[6]) sind die Eichenstämme abgestorben, doch augenscheinlich deshalb, weil ihnen die Existenz in dem Hüttenrauch nicht zusagte; diese Eichen haben sich also genau so verhalten wie die in Lancashire und in dem Stolberger Rauchschadengebiet. Nur dem Umstande, daß diese Stämme noch jünger waren, ist es zu verdanken, daß sich Stockausschlag bilden konnte. Der Stockausschlag kann sich aber, wie wir an verschiedenen Stellen sehen, in großer Nähe der Hütte durch seine geringe vertikale Entfaltung halten; er befindet sich unter denselben günstigen Bedingungen wie die Gras- und Krautvegetation. Im Boden findet er noch ausreichende Nährstoffe; auch vermag er sein Wasserbedürfnis noch befriedigend zu decken, da der Wind durch die geringere Geschwindigkeit an der Oberfläche des Bodens die Transpiration nicht ungebührlich steigert. Dieser Verzögerung der Windgeschwindigkeit an der Erdoberfläche ist es meines Erachtens nach zuzuschreiben, daß die

[1]) l. c. S. 113.

[2]) Siehe den Anhang.

[3]) Gutachten in Sachen des Rechtsstreites des Eschweiler Bergwerks-Vereins gegen die Chemische Fabrik Rhenania wegen Beschädigung des Probsteywaldes durch Rauch. 1883. S. 3.

[4]) Die Kohlenrauchschäden im Chemnitzer Stadtwalde. Forstwiss. Centralblatt 15. Jahrg. 1893. S. 21.

[5]) Garden. Chron. 2 ser. 1. 1874 S. 180. Zitiert nach Haselhoff u. Lindau l. c. S. 116.

[6]) l. c. S. 116.

Vegetation von Gras, Kraut und Heidekraut, der sich sozusagen der Eichenstockausschlag hinzugesellen kann, so sehr dicht an die Hütten herangeht. Dahingegen wird man hinter der Behauptung, daß die Buchen so wenig, die Eichen sehr widerstandsfähig sind, ein großes Fragezeichen machen dürfen. Wenn man von dem Stockausschlag absieht, was man aus den dargelegten Gründen tun muß, so wird sich wohl herausstellen, daß die Eiche nirgends in den Rauchschadengebieten sehr widerstandsfähig ist. Die anderen Baumarten bilden entweder gar keinen Stockausschlag oder nur schlecht wie die Buche. Wo aber Buchen- und Eichenstockausschlag nebeneinander vorkommen, wie auf dem Burgberg bei Letmathe und im Eschweilerer Walde, verhalten sich die beiden Baumarten gleich; vielleicht gehen unter diesen Umständen die Buchen etwas eher ein, weil ihre Reproduktionsfähigkeit geringer ist.

Ich wies oben darauf hin, daß man mehrfach Widerstandsfähigkeit und Empfindlichkeit der Organe miteinander vermengt hat. Ein Beispiel dafür ist die Birke. Nach der Resistenzskala von v. Schroeder und Reuß nimmt sie unter den Laubhölzern die vierte Stelle ein, während die Eiche an der neunzehnten steht. »Im allgemeinen steht es fest, daß Birke, Rot- und Weißbuchen auch bei zusagenden äußeren Bedingungen dem Rauche am wenigsten widerstehen«. Ich weiß nicht, ob dieser Bemerkung von Haselhoff und Lindau[1]) eigene Beobachtungen zugrunde liegen, oder ob das nur ein Resumee aus der v. Schroeder-Reuß'schen Resistenzskala ist; jedenfalls trifft diese Bemerkung im allgemeinen nicht zu. Die jugendlichen Blätter der Birke sind sehr empfindlich gegen saure Gase. Im Probsteywalde haben wir beobachtet, daß im Frühjahr strichweise bis auf weite Entfernung hin das ganze Laub zerstört worden war. Nach kurzem schlug aber die Birke wieder aus und war während des Restes der Vegetationsperiode voll belaubt. Höchstens in der Holzproduktion macht sich die Wirkung der Zerstörung des jugendlichen Laubes bemerkbar, was ich aber nicht untersucht habe, während die Widerstandsfähigkeit keineswegs darunter gelitten hatte. Auch sonst kann man sowohl im Probsteywalde wie im Eschweilerer Walde beobachten, daß der Birke eine bedeutende Widerstandsfähigkeit eigen ist. Sie ist widerstandsfähiger als die hochstämmige Eiche. Nicht minder hat sich die Birke bei Chemnitz bewährt, wo sie sogar eins der wichtigsten Laubhölzer gewesen ist, um den totgeräucherten Fichtenwald zu ersetzen. Wie das Verhältnis hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit zwischen Eiche und Birke in dem Myslowitz-Kattowitzer Rauchschadengebiet ist, vermag ich nicht zu sagen. Unverkennbar ist die Birke auch hier sehr widerstandsfähig. Die von Kunigundenhütte

[1]) l. c. S. 118.

nach Emanuelssegen führende Chaussee ist mit alten Birken eingefaßt, welche sich gut halten. Absolut widerstandsfähig ist die Birke auch hier nicht, wie unsere Abb. 11 auf S. 275 zeigt. Sie führt uns zwei Birken in verschiedenen Graden der Zerstörung, mit Kiefern gemischt, aus Jagen 21 in der Entfernung von etwa 1200 m von Kunigundenhütte vor.

Die angeführten Beispiele dürften zeigen, daß die Resistenzreihe von v. Schroeder und Reuß der Revision resp. der Ergänzung bedarf. Dieselbe Baumart scheint in verschiedenen Gegenden ungleich widerstandsfähig zu sein. Es wäre deshalb wünschenswert, wenn diejenigen Forstbeamten, welche im Rauch zu wirtschaften haben, diesem Punkte dauernd ihre Aufmerksamkeit schenkten und ihre Erfahrungen veröffentlichten. Die Beurteilung der Resistenzfähigkeit eines Baumes kann sich nur auf langjährige Beobachtung gründen und nicht durch eine flüchtige Besichtigung eines Rauchschadengebietes festgestellt werden.

Daß dieselbe Baumart sich in verschiedenen Rauchschadengebieten ungleich verhalten kann, wird durch die widersprechenden Angaben von Stöckhardt[1]), v. Schroeder und Reuß, Oster, Baltz und Schier erwiesen. Wissenschaftlich interessant ist die Frage, auf welchen Umstand das ungleiche Verhalten derselben Baumart in verschiedenen Gegenden zurückzuführen ist. Haselhoff und Lindau[2]) erblicken die Hauptursache in den Standortsverhältnissen. »Die Bodenbeschaffenheit spielt für den Baum eine außerordentlich wichtige Rolle; findet er die zusagende Zusammensetzung des Erdreiches, so geht nicht bloß sein Wachstum am schnellsten vorwärts sondern er bleibt auch am längsten gesund. Diese letztere Tatsache erklärt sich daraus, daß er den Krankheiten keine Prädisposition bietet. Es ist eine bekannte und durch viele Beobachtungen erprobte Erfahrung, daß eine Pflanze um so weniger durch äußere Einflüsse erkrankt (Kälte, Pilze, Insekten usw.), je kräftiger sie wächst und je zusagender für sie alle äußeren Bedingungen sind. Das gilt auch für den Rauch«. Die Verfasser setzen also eine durch die Bodenverhältnisse modifizierte Neigung zur Erkrankung durch saure Gase voraus. Bisher hatte man die individuellen Differenzen einer Baumart in einem und demselben Rauchschadengebiet auf solche Weise zu erklären versucht. Ob sich aus demselben Gesichtspunkt auch das ungleiche Verhalten derselben Baumart in verschiedenen Rauchschadengebieten erklären läßt, ist aus dem vorliegenden Material nicht zu entscheiden. Ist die Ansicht richtig, so müßte eine Beziehung zwischen der Widerstandsfähigkeit einer Baumart und der Bonität des Bodens wenigstens

---

[1]) Zitiert nach Haselhoff u. Lindau, l. c. S. 117.
[2]) l. c. S. 117.

für die in Beständen gezogenen Bäume wie Eiche, Buche, Birke, Fichte, Kiefer und Lärche zu ermitteln sein. Man dürfte dann erwarten, daß sich Fichten auf gutem Fichtenboden besser halten als Kiefern auf mäßigem Boden, und daß bald die Eiche, bald die Buche widerstandsfähiger ist, je nachdem der Boden mehr guter Eichen- oder guter Buchenboden ist. Auch ich bin der Meinung, daß der Boden an dem ungleichen Verhalten derselben Baumart in verschiedenen Gegenden die Schuld trägt, aber in etwas anderem Sinne als Haselhoff und Lindau.

Was die Verfasser Prädisposition nennen, ist noch etwas vollständig Unbekanntes, vorderhand nichts Weiteres als eine Umschreibung für das tatsächlich Beobachtete. Denn, wenn die durch Pilze verursachten Krankheiten zum Verständnis herbeigezogen werden, so wird übersehen, daß hier die Verhältnisse anders liegen. Soll der Pilz in eine Pflanze eindringen, so müssen besondere Bedingungen im Substrat gegeben sein, da er an bestimmte Lebensbedingungen gebunden ist. Fehlen diese in der Pflanze, so bleibt sie von ihm verschont. Hier ist die Prädisposition sehr klar und durchsichtig. Die Säure hingegen kann in jedem Fall ungehindert in die Blätter eindringen und wird hier nach Maßgabe ihres sauren Charakters wirken. Ob die Blattzellen eines Baumes, der sich dank eines reichen Bodens üppig entfaltet hat, weniger unter der Säure leiden als diejenigen eines Baumes, welcher auf magerem Boden gewachsen ist, entzieht sich bisher vollständig unserer Kenntnis. Es könnte vielleicht sogar das Gegenteil der Fall sein. Da wir eine befriedigende Einsicht in die Wirkungsweise der Säure in der Zelle nicht haben, kann man nicht von vorne herein beurteilen, ob eine Prädisposition für die Erkrankung durch die Säure vorhanden ist. Eine solche Prädisposition kann nicht erschlossen, sondern muß durch die direkte Beobachtung festgestellt werden.

Die Erscheinung läßt sich aber auch aus den Bodenverhältnissen ohne Annahme einer Prädisposition erklären. Je vorteilhafter ein Boden für die Entwicklung einer bestimmten Baumart ist, um so länger wird es dauern, bis die Verschlechterung des Bodens solche Fortschritte gemacht hat, daß sie nachteilig auf die Entwicklung der Pflanze einwirkt. Halten wir uns z. B. nur an den Kalk. Auf einem kalkreicheren Boden wird eine Baumart, wenn der Boden sonst für sie paßt, widerstandsfähiger sein als auf einem kalkärmeren. Natürlich ist das nicht das einzige hierbei mitwirkende Moment. Beispielsweise kann die Tiefgründigkeit eine wichtige Rolle spielen. Eine Pflanze, welche tiefgründigen Boden entsprechend ihrem Wurzelwachstum liebt, wird bei einer durch die Säure hervorgerufenen Bodenverschlechterung eher leiden, wenn sie auf seichtem als wenn sie auf tiefem Boden wurzelt. Wenn wir über die Biologie unserer Holzgewächse genau unterrichtet wären, so würde sich vielleicht sehr leicht entscheiden

lassen, auf welchem Boden die Widerstandsfähigkeit einer bestimmten Baumart am meisten leiden muß, wenn eine durch Säure hervorgerufene Verschlechterung des Bodens eintritt. So sind wir auf allgemeine Erwägungen angewiesen, und diese sprechen dafür, daß die Art der Veränderung, welche ein Boden erfährt, für die verschiedene Widerstandsfähigkeit einer Baumart in verschiedenen Gegenden bestimmend ist. Da die Ansprüche verschiedener Baumarten an den Boden ungleich sind, so kann man sich sehr wohl vorstellen, daß auf demselben Boden bei eintretender Verschlechterung zwei Baumarten verschieden leiden werden, und zwar wird voraussichtlich immer die Baumart mehr leiden, für welche der Boden schon an und für sich weniger vorteilhaft war.

Wenn man diese Verhältnisse in Betracht zieht, scheint es mir verständlich zu werden, daß die von v. Schroeder und Reuß für die Holzgewächse aufgestellte Resistenzskala keine absolute Gültigkeit hat. Man wird sogar noch einen Schritt weiter gehen dürfen und sich die Frage vorlegen müssen, ob nicht überhaupt die ungleiche Widerstandsfähigkeit der Baumarten auf ihre Beziehung zum Boden anstatt auf eine spezifische Empfindlichkeit des Plasmas gegen Säure zurückzuführen ist. Bei einer eintretenden Verschlechterung des Bodens müssen vor allen Dingen diejenigen Baumarten leiden, welche ein sehr flachstreichendes Wurzelsystem besitzen, oder welche große Ansprüche an die Nährstoffe des Bodens machen.

Daß die Fichte in hohem Maße in Rauchschadengebieten leidet, steht unumstößlich fest. Nun hat gerade sie ein sehr flach streichendes Wurzelsystem, sie ist also auf die obersten Bodenschichten mit ihrer Ernährung angewiesen. Eine Veränderung des Bodens, wodurch sich die chemischen und physikalischen Verhältnisse für die Wurzeln ändern, muß sich schnell und ausgiebig bei ihr fühlbar machen. Die Kiefer hingegen sendet ihre Wurzeln viel tiefer in den Boden hinein, ist außerdem auch hinsichtlich der Nährstoffe anspruchsloser. Sie hat durch das tiefer gehende Wurzelsystem ein viel größeres Reservoir an Nährstoffen zur Verfügung als die Fichte. Eine Bodenverschlechterung, welche ja immer von oben nach unten vorrücken muß, wird sie erst später berühren, außerdem scheint sie gegen eine solche etwas weniger empfindlich zu sein, da sie in den feuchten moosigen Kiefernheiden[1]) und, wenn auch in kümmerlicher Tracht, auf vermoortem Gelände[2]) leben kann. Man wird also erwarten dürfen, daß

---

[1]) P. Graebner, Die Heide Norddeutschlands und die sich anschließenden Formationen in biologischer Betrachtung. Leipzig, Wilhelm Engelmann 1901. S. 241.

[2]) Graebner, l. c. S. 108.

die Kiefer in verarmenden Böden mit humussaurem Charakter nicht so schnell leidet. Ähnlich steht es jedenfalls auch mit der Birke. Die große Widerstandsfähigkeit in Rauchschadengebieten scheint mir ganz wesentlich mit ihrer Anspruchslosigkeit zusammenzuhängen. Betula pubescens kommt sogar auf den Hochmooren[1]) fort, so daß ihr jedenfalls auch die Gegenwart der freien Humussäure nichts schadet. Die große Widerstandsfähigkeit der Eiche, wenigstens als Stockausschlag oder Schlagholz, hängt gewiß mit ihrer bedeutenden Anpassungsfähigkeit zusammen. Die Eiche kann auf nassem, auf trockenem, heidigem oder fast steppenartigem Boden[2]) fortkommen, dürfte also auch zu den anspruchsloseren Hölzern gehören.

Zu den widerstandsfähigsten Pflanzen, die gleichzeitig die Physiognomie eines unter Rauchwirkung leidenden Waldes verändern, gehört das Heidekraut. Wie wir aus der früher mitgeteilten Schilderung für das Clausthaler Rauchschadengebiet entnehmen können, rückt das Heidekraut in dem Maße gegen den Wald vor, wie dieser von der Hütte zurückweicht. Da das Heidekraut sich nach Graebner erst auf nährstoffarmem Boden wohlfühlt und Schimper[3]) ausdrücklich hervorhebt, daß der Boden sehr kalkarm sein muß, so findet diese Pflanze hier erst ihre Existenzbedingungen, wenn die Säure längere Zeit eingewirkt und dem Boden den Kalk entzogen hat, während die Fichten nicht mehr existieren können. Die Verarmung des Bodens, vor allen Dingen an Kalk, trägt die Schuld, daß sich zwischen Hütte und Wald bei der Clausthaler und Altenauer Silberhütte Heide einschaltet. Und ähnlich verhält es sich im Myslowitz-Kattowitzer Rauchschadengebiet. »Von der Kunigundenhütte zur Amandagrube führt der Weg durch offenes Terrain. Nach dem Tale zu ist der Wald völlig verschwunden, nach der Höhe hin weicht er immer mehr zurück. Beide Seiten des Weges faßt ein breiter Streifen von Heideland ein. Man sieht zwischen Gras und Heidekraut noch die Reste des früheren Waldes. An einem kleinen Wall erheben sich noch einige kümmerliche Kiefern von Mannshöhe und wenig darüber, deren Tage gezählt sind«[4]). Wenn Haselhoff und Lindau mit Bezug auf das Clausthaler Rauchschadengebiet die sehr zutreffende Bemerkung machen: »Es ist also in der ganzen norddeutschen Tiefebene überall dieselbe Erscheinung zu beobachten: wenn der Wald verschwindet, tritt die Heide seine Erbschaft an«[5]), so dürfte sich das in allen Fällen aus einer derartigen Verarmung des Bodens er-

---

[1]) Schimper, Pflanzen-Geographie auf physiologischer Grundlage. Jena 1898. S. 693.

[2]) Graebner, l. c. S. 254.

[3]) l. c. S. 689.

[4]) Haselhoff u. Lindau, S. 171.

[5]) l. c. S. 153.

klären, daß der Wald nicht mehr die geeigneten Existenzbedingungen findet, während die Heide auf dem armen Boden ein fröhliches Dasein führen kann. Das Auftreten der Heide in Rauchschadengebieten kann als sicheres Merkmal einer durch die Einwirkung der Säure hervorgerufenen Bodenverschlechterung betrachtet werden. Die Heide scheint absolut immun gegen die Einwirkung der Säure auf ihre Blattorgane zu sein, wenigstens finde ich nirgends eine Angabe über das Auftreten von Beschädigungen. Ich selbst habe das Heidekraut in der Nähe der Clausthaler Silberhütte daraufhin genau angesehen, aber nichts gefunden. Anfänglich glaubte ich, daß es hier durch einen sperrigeren Wuchs ausgezeichnet sei, doch habe ich mich später an anderen Stellen im Harz, wo jede Rauchwirkung ausgeschlossen war, überzeugt, daß dieser Wuchs auch dort vorkommt. Wenn sich dennoch die Rauchblöße auf Kosten der Heide vergrößert, so geschieht das ganz sicher nicht, weil die Pflanzen durch eine Einwirkung der Säure auf ihre Blattorgane getötet werden, sondern weil schließlich der Boden durch die beständig fortschreitende Verschlechterung auch für das Heidekraut ungenießbar wird.

Die große Widerstandsfähigkeit der Heide und der rasenartigen Eichen in der Nähe der Hütten macht es sehr wahrscheinlich, daß auch die größere Widerstandfähigkeit der Feldfrüchte gegenüber den Holzgewächsen in höherem Maße darauf beruht, daß sie im Boden keinen Mangel an Nährstoffen leiden, als auf einer erheblich größeren Unempfindlichkeit dieser Pflanzen gegen die Säure. Da der Boden jährlich umgearbeitet und eventuell gedüngt wird, tritt niemals der Zustand im Boden ein wie bei den Waldböden. Wo aber sorgfältige Bodenbearbeitung und Düngung unterbleiben, werden auch die Feldfrüchte leiden, und es unterliegt mir keinem Zweifel, daß unter sonst gleichen Verhältnissen das Rauchquellen benachbarte Ackerland eine stärkere Düngung namentlich mit Kalk beansprucht.

Im Gegensatz zu diesen Gewächsen, welche scheinbar eine sehr große Widerstandsfähigkeit gegen Hüttenrauch besitzen, möge hier noch ein Beispiel für das gerade Gegenteil erwähnt werden. Die Flechten scheinen sehr empfindlich gegen Säure zu sein, denn in den beräucherten Buchenwaldungen fehlen sie an den Stämmen, welche obendrein einen auffallenden weißgrauen Farbenton angenommen haben. Auch in großen Städten wie Berlin und München ist das Verschwinden der Flechten an den Bäumen aufgefallen[1]); es wird sich wohl in allen größeren Städten zeigen, wenn erst einmal darauf geachtet wird. Von den Beobachtern wird dies Verschwinden einer besonders großen Empfindlichkeit der Flechten gegen die Säure zugeschrieben, doch müßte diese Empfindlichkeit noch

[1]) Haselhoff u. Lindau, l. c. S. 120.

erst durch Versuche erwiesen werden, da die Flechten sich, je nach ihrem Standort oder nach ihrem spezifischen Charakter, verschieden verhalten. Während die Flechten von den Bäumen des alten Berliner botanischen Gartens verschwunden sind, lebt die Flechte Placodium saxicola auf den Sandsteinplatten der Gewächshäuser. Flechten habe ich auch auf dem Erdboden des Burgberges bei Letmathe, der unter unmittelbarer Einwirkung der an seinem Fuße liegenden Zinkhütte steht, gefunden.

Das Verschwinden der Flechten auf den Baumstämmen möchte ich mit der im Regenwasser gelösten Säure in Zusammenhang bringen. Das aus der ganzen Krone eines Baumes zusammenströmende Wasser fließt an seinem Stamme herab und muß, vermöge seines Gehaltes an Säure, wie eine schwache Säurelösung auf die Flechten einwirken, welche dank ihres Quellungsvermögens große Mengen Flüssigkeit und damit Säure aufnehmen. Der Gehalt des Regenwassers an Säure kann unter Umständen sehr erheblich sein. Bestimmungen, welche bei Haumont[1]) ausgeführt wurden, ergaben eine Konzentration von 1 : 27000 bis 1 : 16700. Auch der Schnee, welcher auf den Stämmen liegt, verwandelt sich beim Schmelzen in eine Säurelösung. Eine der von Sendtner[1]) untersuchten Schneeproben in München enthielt 91 mg Säure in einem Kilogramm Schnee. Beim Schmelzen muß dieser Schnee eine Säurelösung von 1 : 11000 geliefert haben. Es kann nicht Wunder nehmen, wenn bei solchem Reichtum der Luft an Säure in München die Flechten von den Bäumen verschwinden.

Wo in der Natur ähnliche Verhältnisse vorkommen wie bei uns in den Rauchschadengebieten, da dürfen wir auch ein ähnliches Verhalten der Überpflanzen erwarten, und aus dem gleichen Verhalten derselben dürfen wir wieder zurückschließen, daß das Verschwinden der Flechten von den Baumstämmen eine Säurewirkung ist.

Die Vegetation, welche das natürliche Vorkommen von Säureexhalationen begleitet, ist von Schimper an den Fumarolen auf Java studiert worden.

Aus allen Spalten und Pfützen entweichen heiße Dämpfe von erstickendem Geruch bald nach Schwefelwasserstoff, bald nach schwefliger Säure. Das aus dem Dampf gewonnene Wasser schmeckt sauer und stumpft die Zähne ab. »Der Boden, auf welchem solche Pfützen meist in großer Anzahl und verschiedener Größe zusammen vereinigt sind, stellt einen nassen weißen Ton dar, dessen Ursprung von Junghuhn auf die Einwirkung von Schwefelsäure auf Trachyt zurückgeführt wird; er ist meist von einem gelben Schwefelauftrag überzogen. Vielfach ist der Boden so heiß, daß das Verweilen auf demselben ganz unmöglich ist« [2]). Unter

[1]) Siehe oben S. 299.

[2]) Pflanzen-Geographie S. 413.

diesen eigenartigen Bedingungen gedeiht nun eine üppige Flora, ohne irgendwie Schaden zu nehmen, aber sie unterscheidet sich von der des umgebenden Waldes erheblich. Die Gebüsche sind viel niedriger als der umgebende Wald und äußerst scharf gegen ihn abgegrenzt. »Keine der kleinen Bäume und Sträucher, die das Unterholz im Hochwald bilden, treten in ihnen auf und die Waldkräuter nur in wenigen Arten und vereinzelten Individuen; auch solche Gewächse, die sonst in derselben Region an offenen Standorten auftreten, fehlen durchaus«. Dahingegen setzt sich die Flora aus xerophilen Arten zusammen trotz der Feuchtigkeit der Atmosphäre und des Bodens und sie erinnert in diesem Punkte an die Flora auf unseren Mooren. Die Stämme der Gebüsche sind jeder epyphytischen Vegetation bar, es fehlen selbst die Moose und Flechten. Nach den Erfahrungen, welche man bei uns mit den Flechten gemacht hat, darf man wohl annehmen, daß das Fehlen aller dieser Überpflanzen auf die Einwirkung der schwefligen resp. Schwefelsäure zurückzuführen ist. Man würde das sicher behaupten können, wenn nicht dieselbe Erscheinung auch am Meeresstrande beobachtet worden wäre. Indem Schimper die beiden Erscheinungen zusammenstellt, will er unverkennbar andeuten, daß ihr Auftreten an den beiden verschiedenen Standorten von derselben Ursache bedingt ist, was doch vielleicht noch bezweifelt werden kann.

Die physiologische Ursache des Auftretens der xerophilen Vegetation sieht Schimper in dem Reichtum der Solfataren an leicht löslichen Salzen, namentlich an Alaun und anderen Sulfaten. Durch sie ist die Wasseraufnahme erschwert, ebenso wie auf den Mooren durch die Gegenwart der Humussäure. Die Erschwerung der Wasseraufnahme ruft in beiden Fällen eine xerophile Vegetation hervor. Überraschenderweise ist aber auch in beiden Fällen diese xerophile Vegetation sehr widerstandsfähig gegen die Einwirkung der Säure. Korrosionen, wie sie an den Gewächsen in den Solfataren durch die auftropfende Säure erwartet werden könnten, sind nicht beobachtet worden. Aber auch durch das einströmende Gas scheinen sie nicht beschädigt zu werden. Und ebenso ist es in unserer Flora mit dem Heidekraut.

Aus dem obigen ergibt sich, daß sich die ungleiche Widerstandsfähigkeit einer Baumart in verschiedenen Rauchschadengebieten, wenn wir von der Vernichtung derselben infolge akuter Beschädigung absehen, in befriedigender Weise aus einer Bodenverschlechterung, welche sich nach der jeweils verschiedenen ursprünglichen Beschaffenheit der Böden in verschiedener Weise und ungleich schnell in dem Lebenszustand der Pflanze bemerkbar machen muß, erklären läßt. Auch konnte in Zusammenhang

damit wahrscheinlich gemacht werden, daß die Widerstandsfähigkeit einer Baumart gegen den Rauch nicht von der spezifischen Empfindlichkeit ihres Plasmas gegen die schweflige Säure, sondern von ihren Ansprüchen an die Beschaffenheit des Standortes abhängig ist. Ebenso wie bei der Hemmung und eventuellen Sistierung des Höhenwachstums der Bäume in den Rauchschadengebieten bin ich auch hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegen die Säure der Ansicht, daß wir es hierbei lediglich mit einer Bodenwirkung zu tun haben. Eine Bodenverschlechterung muß in den Rauchschadengebieten eintreten, freilich kann es zunächst zweifelhaft bleiben, ob diese Verschlechterung so bedeutend ist, daß die erwähnten Erscheinungen lediglich auf sie zurückgeführt werden könnten, oder ob eine Mitwirkung der Säure auf die Blattorgane statthat. Eine objektive Entscheidung kann nur durch Ausschaltung der Bodenverschlechterung, also durch Düngungsversuche, getroffen werden.

Kapitel VII.

Gehalt der Luft an schwefliger Säure in Rauchschadengebieten.

Sinkt der Gehalt der Luft an schwefliger Säure zu weit herab, so muß ihre Wirkung auf die Blattorgane aufhören, weil die Speicherung der Säure in ihnen zu langsam vor sich geht, als daß die sich anhäufende Menge schädigend wirken könnte. Wenn ganz genau bekannt wäre, bei welcher Verdünnung noch die Funktionen des Baumes beeinflußt werden, so würde man aus dem Gehalt der Luft an Säure in einem bestimmten Rauchschadengebiet die Entfernung von der Rauchquelle feststellen können, bis zu welcher sich eine schädliche Einwirkung der Säure fühlbar machen müßte. Wislicenus[1]) kommt auf Grund seiner mehrjährigen Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß die Schädigungsgrenze bei 1 : 500000 liege; meine eigenen Versuche sprechen im allgemeinen nicht dagegen. Nun hat die Ermittlung solcher Grenzwerte aber nur theoretische Bedeutung, wenn es nicht gelingt, sie auf ihre Richtigkeit in Rauchschadengebieten zu prüfen, wozu der Gehalt der Luft an Säure ermittelt werden muß. Überraschenderweise fehlt es nach dieser Richtung durchaus an systematischen Versuchen. Augenscheinlich hat man die Schwierigkeiten, welche der Ermittlung des Säuregehaltes der Luft entgegenstehen, für so bedeutend gehalten, daß man von vorne herein auf ein derartiges Unternehmen verzichtet hat. Mir schien es unerläßlich, sollten nicht alle theoretischen Errungenschaften in der Rauchfrage praktisch wertlos bleiben, wenigstens den Versuch zu machen, den Säuregehalt in der Luft zu bestimmen. Schon im Sommer 1900 habe ich die ersten einschlägigen Versuche ausgeführt.

Die einzuschlagende Methode ergab sich ganz von selbst. Mittels eines Aspirators mußte ein großes Luftquantum durch absorbierende Medien durchgesogen werden, um die Säure aus der Luft aufzufangen. Die Schwierigkeit lag darin, einen handlichen Apparat zu konstruieren, der

[1]) Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. Zeitschrift für angewandte Chemie 1901, Heft 28.

im Walde benutzt werden konnte und eine rasche Absorption gestattete. Auch mußte man die Menge Luft genau bestimmen können, welche in einem Versuche den Aspirator passiert hatte.

Bei den vorläufigen Versuchen im Sommer 1900 wurden als Aspirator zwei Schwefelsäureballons benutzt, welche gewechselt wurden, wenn das Wasser des einen in den andern gelaufen war. Die Luft, welche in den oberen Ballon eindrang, mußte einige mit einer titrierten Lösung von Kaliumbikarbonat gefüllte Waschflaschen passieren. Die Ergebnisse dieser Versuche waren ermunternd. Der Gehalt der Luft an Säure erwies sich an der Stelle im Probsteywald, wo die Versuche angestellt wurden, als so hoch, daß ausreichend genaue Bestimmungen in den Absorptionsflüssigkeiten ausgeführt werden konnten, wenn etwa 1 cbm Luft durch den Apparat hindurchgesogen worden war. Allerdings war dazu ein ganzer Tag erforderlich. Es stellten sich auch sehr schnell die Mängel der Einrichtung heraus. Der Wechsel der mit Wasser gefüllten Säureballons beanspruchte viel Personal, ohne daß dabei eine wissenschaftlich gebildete Persönlichkeit entbehrt werden konnte. Es kam vor allen Dingen darauf an, den Aspirator handlicher zu gestalten, sodaß er leicht transportiert und überall im Walde aufgehängt werden konnte.

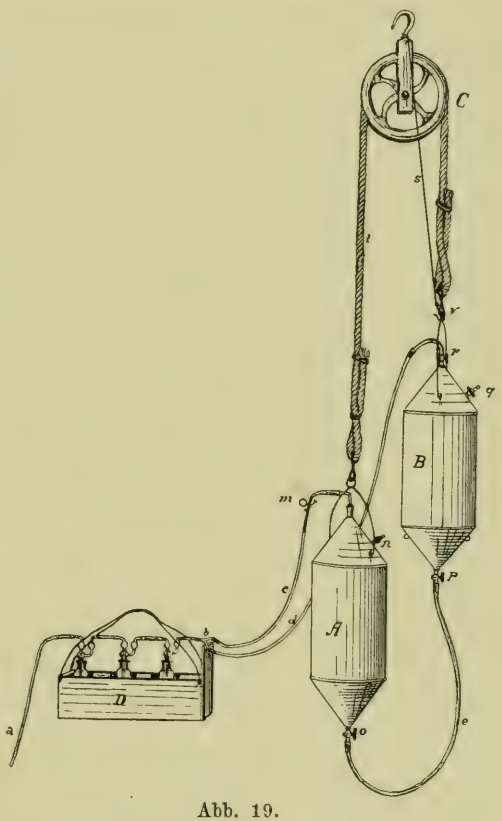


Abb. 19.
Aspirator zur Luftanalyse, ca. $^1/_{25}$ nat. Gr.

Für die späteren Versuche habe ich den nebenstehend abgebildeten Aspirator benutzt (Abb. 19). Über eine Scheibe C, welche mit einem Haken an einem Aste oder an einem um denselben geschlungenen Tau aufgehängt werden kann, läuft eine Schnur t, an deren beiden Enden die Aspirationsgefäße aus Zinkblech A u. B befestigt sind. Die zylindrischen Gefäße gehen nach unten und oben konisch zu. Unten haben sie einen Ansatz zum Überziehen eines Gummischlauches e und einen Hahn (o, p), um die

Gefäße abzuschließen. Das obere Ende läuft bei dem Behälter B in eine rechtwinklig gebogene Metallröhre aus, die durch einen Hahn r verschlossen ist; der Behälter A hat am oberen Ende einen Ansatz, in den ein durchbohrter Gummistopfen und ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr gesteckt werden kann. Außerdem befindet sich noch an dem oberen konischen Teil der beiden Gefäße ein Metallhahn (n, q). Die rechtwinklig gebogenen Röhren stehen durch Gummischläuche mit drei in dem Holzkasten D hintereinander geschalteten Waschflaschen in Verbindung und zwar in der Weise, daß die erste dem Aspirator zugekehrte Flasche ein T-Rohr b trägt, dessen beide freien Enden durch einen Gummischlauch (c, d) mit den beiden Röhren der Aspiratorgefäße verbunden sind. An dem Apparat befindet sich eine Schnur (s), welche von dem Halter der Scheibe herabhängt und am freien Ende einen Haken (v) trägt. Mit diesem Haken wird die Schnur an dem Handgriffring des höher stehenden Behälters befestigt, damit die Stellung der beiden Behälter zueinander immer die gleiche ist und der höher stehende nicht sinken kann, wenn er mit Wasser gefüllt ist. Der Apparat wird folgendermaßen gehandhabt. Bei der Stellung, welche unsere Abb. 19 wiedergibt, werden die Hähne o und p, welche während der ganzen Versuchsdauer nicht geschlossen zu werden brauchen, r und n geöffnet, die Hähne q und m geschlossen. Indem nun das Wasser aus B nach A fließt, wird die Luft durch die Waschflaschen mit Kalilauge oder mit Kaliumkarbonat gesogen, während die Luft aus dem Behälter A durch n entweichen kann. Ist das obere Gefäß entleert, werden die Hähne r und n geschlossen, der Haken v losgehakt, der Behälter A nach oben gewunden, wieder mit v festgehakt und nun die Hähne m und q geöffnet. Indem das Wasser aus A nach B fließt, streicht die Luft durch die Waschflaschen hindurch. Und so wiederholt sich ununterbrochen der Wechsel zwischen den beiden Aspiratorgefäßen.

Ich habe zwei derartige Apparate anfertigen lassen. Bei dem ersten fassen die Aspiratorgefäße ungefähr je $10^3/_4$, bei dem zweiten $23^1/_2$ Liter. Ersterer ist für einen weiteren Transport bequemer, namentlich wenn das Wasser mitgeführt werden muß, ist aber im Gebrauch etwas unbequemer, weil die Aspiratorgefäße häufiger gewechselt werden müssen. In noch nicht ganz drei Minuten ist der Behälter ausgelaufen und sind die Gefäße gewechselt, so daß man in einer Stunde 200 Liter durch die Waschflaschen hindurchsaugen kann. Im Durchschnitt ist die Leistung aber eine geringere, weil bei mehrstündiger Arbeit die Operationen zu ermüdend sind. Immerhin kann man auch mit diesem Apparat in fünf bis sechs Stunden einen Kubikmeter Luft durch die Wachsflaschen hindurchsaugen. Wo die Transportschwierigkeiten nicht in Betracht kommen, können von einer Person beide

Apparate nebeneinander benutzt werden, natürlich jeder mit einem Satz Wachsflaschen für sich. Der Hauptnachteil dieser Apparate besteht darin, daß sie von einem wissenschaftlich gebildeten Manne bedient werden müssen, der mit der größten Peinlichkeit darauf achtet, daß die Zahl der Wechsel notiert wird und die entsprechenden Hähne zur rechten Zeit geschlossen und geöffnet werden, damit nicht die Luft zurücksteigt und die Waschflaschen zum Auslaufen bringt.

Als Absorptionsmittel benutzte ich anfänglich Kaliumkarbonat und ermittelte durch Titration mit $^1/_{10}$-N-Säure den eventuellen Gehalt an schwefliger oder Schwefelsäure. Diese Methode hat sich jedoch als unzweckmäßig erwiesen. Bei einer größeren Versuchsreihe in der Probstey und im Aachener Stadtwalde wurde deshalb die Schwefelsäure in den Absorptionsflüssigkeiten gewichtsanalytisch bestimmt. Im allgemeinen wurde der Gehalt an Schwefelsäure für jede einzelne Absorptionsflasche ermittelt.

Die nachfolgenden Versuche habe ich von Herrn Dr. Grünewald, der damals Assistent bei mir war, ausführen lassen; ebenso hat er alle erforderlichen Schwefelsäurebestimmungen gemacht. Er benutzte teils einen Apparat, teils beide Apparate nebeneinander.

Die Versuche im Probsteywalde wurden an zwei Stellen angestellt, an der Grenze der kleinen Probstey, wo Tiefenbach- und Falterschneise zusammenstoßen, und in 31, in der Nähe des Kreuzungspunktes von Tiefenbach- und Fuchsheckschneise. Der erste Standort ist von der Rauchquelle, welche in erster Linie für den Probsteywald in Betracht kommt, etwa 1200, der zweite Standort etwa 2300—2400 m entfernt. Die Apparate wurden an einem Aste aufgehängt; die hinterste Waschflasche stand durch einen Schlauch mit einem Trichter in Verbindung, der im Wipfel des betreffenden Baumes aufgehängt wurde, um gerade den Gehalt der Luft an Säure zu bestimmen, welche die Wipfel der Bäume trifft.

Standort I. Kleine Probstey. 1200 m Entfernung.

1. Versuch. Am 11. August 1903 mit dem kleinen Apparat. Der Versuch dauerte $7^1/_2$ Stunden von 10 Uhr V. bis 5^{30} N. Während dieser Zeit regnete es von 1—1^{30}, 3^{15}—3^{30} und von 5—5^{45}. Von 10 bis 11 Uhr wehte Westwind, von 11—12^{30} sehr starker Süd-Südwestwind, von 2—2^{30} sehr starker Südwestwind. In den $7^1/_2$ Stunden wurden 1129 l Luft durchgesogen. Es lieferten Waschflasche

I	0,0043 g	$BaSO_4$
II	0,0017 „	„
III	0,0006 „	„
	0,0066 g	$BaSO_4$.

Dem entsprechen 0,0018 g SO_2 oder 0,6 ccm SO_2.

Der Gehalt der Luft an schwefliger Säure belief sich also auf 1 : 1881670.

2. Versuch. Am 12. August 1903 mit dem kleinen Apparat. Versuchsdauer $7^1/_2$ Stunden von 10^{15} V. bis 5^{45} N. Es regnete während dieser Zeit von 12^{20}—12^{45}, von 1^{20}—1^{42}, 2—2^{20} und 3^{10}—3^{20}. Von 10—11 wehte Westwind, von 11—11^{30} Süd-Südwestwind, von 12^5—12^{25} sehr starker Südostwind, von 12^{20}—12^{55}, von 1—3^{10} Süd-Südwestwind, von 3^{20}—3^{40} Südwestwind, von 3^{40}—4^{30} Westwind. Während der Versuchsdauer wurden 1236 l durchgesogen. Die Bestimmung der Schwefelsäure geschah in diesem Falle in der ganzen zur Absorption benutzten Flüssigkeitsmenge. Sie lieferte 0,049 g SO_3, was 0,013 g SO_2 oder 4,5 ccm SO_2 entspricht. Der Gehalt der untersuchten Luft betrug also 1 : 274700.

3. Versuch. Am 19. August 1903 mit beiden Apparaten nebeneinander. Beide Sätze Waschflaschen mit demselben Trichter im Baume verbunden. Dauer des Versuches ist unbekannt. Es wurden 2030 l Luft durchgesogen. Während der Versuche regnete es von 12^{15}—1^{30}; von 2^{50} bis 4^{40} war ein starkes Gewitter mit viel Regen. Ebenso fiel von 5^{10}—5^{20} viel Regen. Von Beginn des Versuches an bis 12 Uhr wehte ein guter Süd-Südwestwind, bis 12^{10} ein starker Südwestwind. Von 2^{15}—4^{30} wehte starker Westwind und von 4^{30}—5^{45} starker Südwestwind. Die Waschflaschen lieferten

I	0,0370 g	$BaSO_4$
II	0,0007 „	„
III	0,0001 „	„
1	0,0170 „	„
2	0,0008 „	„
3	0,0004 „	„
	0,0560 g	$BaSO_4$.

Dieser Menge entsprechen 0,015 g SO_2 oder 5,2 ccm SO_2. Der Gehalt der Luft an schwefliger Säure betrug 1 : 390000.

4. Versuch. Am 21. August 1903 mit beiden Apparaten wie bei 3. Es regnete stark von Beginn des Versuches an bis 12^{15}, von 2—2^{45}, 4—4^{45} und 5—6 Uhr. Auch wehte der Südwestwind stark von Beginn des Versuches an bis 2^{45}, dann sprang er nach Westen um. Von 3^{15}—5 Uhr wehte wieder Südwestwind, dann sprang er wieder nach Westen um. Während des Versuches wurden 2616 l durch die Waschflaschen durchgesogen, welche folgende Werte für Schwefelsäure lieferten

I	0,0238 g	$BaSO_4$
II	0,0011 „	„
III	0,0002 „	„
1	0,0152 „	„
2	0,0007 „	„
3	0,0003 „	„
	0,0413 g	$BaSO_4$.

Diesem Betrage entsprechen 0,0113 g oder 3,95 ccm SO_2. Der Gehalt der Luft an schwefliger Säure wäre 1 : 662000.

Standort II. Große Probstey. 2300—2400 m Entfernung.

5. Versuch. Am 14. August 1903 mit dem großen Apparat. Von 2—2^{15} regnete es; von 5^{15}—6 Uhr war ein starkes Gewitter mit viel Regen. Der Wind wehte von Beginn des Versuches bis 12 Uhr aus Süden, von 12—1^{30} aus Südost, von 1^{45}—2 und von 3^{30}—4^{30} aus Südwesten, von 2—3^{15} aus Süd-Südwesten und von 4^{30}—5 Uhr aus dem Westen. Während des Versuches sind 1598 l durchgesogen wurden. Die Flaschen gaben folgende Beträge:

I	0,058 g	$BaSO_4$
II	0,010 „	„
III	0,009 „	„
	0,077 g	$BaSO_4$.

Dieser Menge entsprechen 0,021 g SO_2 oder 7,4 ccm SO_2. Das würde einem Gehalt der Luft an schwefliger Säure entsprechen von 1 : 216000.

6. Versuch. Am 19. August 1903 mit beiden Apparaten. Während $2^1/_4$ Stunden regnete es; 5 Stunden lang wehte mäßiger Süd-Südwestwind, $1^1/_2$ Stunden Südwind und $1^1/_2$ Stunden sehr starker Westwind. Zusammen waren 2834 l Luft durch den Apparat gesogen worden. Die einzelnen Waschflaschen lieferten folgende Beträge:

I	0,0350 g	$BaSO_4$
II	0,0011 „	„
III	0,0003 „	„
1	0,0284 „	„
2	0,0007 „	„
3	0,0009 „	„
	0,0664 g	$BaSO_4$.

Dieser Menge entsprechen 0,018 g SO_2 oder 6,3 ccm SO_2, was einen Gehalt der Luft an Säure ausmacht von 1 : 450000.

7. Versuch. Am 1. September 1903 mit beiden Apparaten. Während der Versuchsdauer regnete es $^1/_2$ Stunde, 1 Stunde lang wehte der Wind

sehr stark aus Nordwest, 3 Stunden lang war guter Wind aus Südwest, $2^1/_2$ Stunden lang aus Süd-Südwest und $1^3/_4$ Stunden aus Westen. 2397 l Luft wurden durch die Apparate hindurchgesogen. Die Waschflaschen lieferten:

I	0,025 g	$BaSO_4$
II u. III	0,009 „	„
1	0,018 „	„
2 u. 3	0,013 „	„
	0,065 g	$BaSO_4$.

Dieser Menge entsprechen 0,018 g SO_2 oder 6,3 ccm SO_2. Die Luft enthielt demnach schweflige Säure 1 : 380000.

8. Versuch. Am 2. September 1903 mit beiden Apparaten. $5^1/_4$ Stunden lang wehte sehr guter Wind aus Süd-Südwesten, 2 Stunden lang aus Südwesten und $^1/_2$ Stunde aus Osten. Es wurden 2717 l Luft durch die Apparate durchgesogen. Die Waschflaschen lieferten folgende Beträge:

I	0,027 g	$BaSO_4$
II	0,012 „	„
III	0,009 „	„
1	0,010 „	„
2	0,003 „	„
3	0,003 „	„
	0,051 g	$BaSO_4$.

Diese Menge lieferte 0,018 g SO_2 oder 6,3 ccm SO_2, was einem Säuregehalt der Luft entspricht von 1 : 431200.

9. Versuch. Am 3. September mit 2 Apparaten. Eine Stunde lang schwacher Regen. $1^1/_4$ Stunden lang wehte starker Nordwestwind, $3^3/_4$ Stunden lang starker Südwestwind und $2^1/_2$ Stunden lang sehr starker Südwestwind. 2470 l Luft wurden durch die Apparate gesogen. Die Waschflaschen lieferten folgende Beträge:

I	0,020 g	$BaSO_4$
II u. III	0,007 „	„
1	0,015 „	„
2 u. 3	0,009 „	„
	0,051 g	$BaSO_4$.

Diese Menge liefert 0,014 g SO_2 oder 4,9 ccm SO_2, was einem Säuregehalt der Luft von 1 : 504000 entspricht.

10. Versuch. Am 9. September 1903 mit dem großen Apparat. Während 3 Stunden starker und während 3 Stunden sehr starker Regen. $2^1/_4$ Stunden wehte der Wind stark aus Südwesten, $1^1/_2$ Stunden lang stark aus Süd-Südwesten und 2 Stunden sehr stark aus Westen. 1104 l wurden

während des Versuches durch den Apparat gesogen. Die Waschflaschen lieferten folgende Beträge:

I	0,019 g	$BaSO_4$
II	0,010 „	„
III	0,007 „	„
	0,036 g	$BaSO_4$.

Dieser Menge entsprechen 0,0099 g SO_2 oder 3,5 ccm SO_2, was ein Verhältnis von 1 : 315400 in der Luft anzeigt.

11. Versuch. Am 10. September 1903 mit dem großen Apparat. Während $2^1/_2$ Stunden regnete es, während $1^1/_2$ Stunden sogar stark. Der Wind wehte $2^1/_2$ Stunden aus Süd-Südwesten und $3^1/_4$ Stunden stark aus Südwesten. Durch den Apparat wurden während des Versuches 1151 l durchgesogen. Die Waschflaschen lieferten folgende Beträge:

I	0,013 g	$BaSO_4$
II	0,008 „	„
III	0,005 „	„
	0,026 g	$BaSO_4$.

Diese Menge gibt 0,007 g SO_2 oder 2,5 ccm SO_2, was einem Gehalt der Luft an Säure von 1 : 460000 entspricht.

Die vorstehend beschriebenen Versuche ergeben große Verschiedenheiten in dem Gehalt der Luft an Säure in dem Probsteywalde, was aus der nachstehenden Zusammenstellung hervorgeht.

Kleine Probstey.		Große Probstey.	
Versuch 1.	1 : 1888170	Versuch 5.	1 : 216000
„ 2.	1 : 274700	„ 6.	1 : 450000
„ 3.	1 : 390000	„ 7.	1 : 380000
„ 4.	1 : 662000	„ 8.	1 : 431200
		„ 9.	1 : 504000
		„ 10.	1 : 315400
		„ 11.	1 : 460000

Wenn man von dem Versuch 1 absieht, so stellt sich heraus, daß der Gehalt der Luft an Säure verhältnismäßig recht hoch ist. Es sind darunter Konzentrationen, welche nach meinen Experimenten nicht ohne Einfluß z. B. auf die Buchen bleiben; bei den höheren Konzentrationen, würde die Assimilation beeinflußt werden, bei den niedrigeren würden noch Injektionen auftreten können, und selbst eine direkte Tötung von Blattsubstanz wäre bei den ersteren nicht ausgeschlossen. Es ist ferner sehr überraschend, daß im Durchschnitt der Standort in der kleinen und in der großen Probstey keinen wesentlichen Unterschied in dem Gehalt der

Luft an Säure erkennen läßt, obgleich der letztere etwa doppelt so weit von der Rauchquelle entfernt ist als der erstere. Streng genommen wird man sogar zugeben müssen, daß durchschnittlich der Gehalt der Luft an Säure in der großen Probstey bedeutender ist als in der kleinen Probstey. Ganz sicher ist das natürlich nicht zu behaupten, denn es könnte an den Tagen, an welchen die Versuche in der kleinen Probstey angestellt wurden, der Gehalt der Luft an Säure vielleicht infolge der Windverhältnisse tatsächlich geringer gewesen sein, aber es ist sehr wahrscheinlich. Hierin dürften sich die hohen Kamine bemerkbar machen, welche die sauren Gase durch die größere Windgeschwindigkeit in bedeutenderer Höhe weiter fortführen.

Der wechselnde Gehalt der Luft an Säure, wie er aus unseren Versuchen spricht, kann sich natürlich nur aus den meteorologischen Verhältnissen erklären. Leider sind die Angaben nicht ausreichend, um eine nähere Beziehung zwischen dem Säuregehalt und der Windrichtung und der Windstärke festzustellen. Ebenso geht aus ihnen nicht hervor, welche Rolle der Regen spielt. Die Beobachtungen über Regen und Wind sind von dem Versuchsansteller während der Ausführung der Versuche gemacht worden, sie beruhen also lediglich auf Schätzung. Es wäre möglich, daß, wenn man genaue Daten hätte, man noch eine präzisere Beziehung zwischen denselben und dem Säuregehalt ermitteln könnte. Erstaunlich ist der außerordentlich kleine Gehalt an Säure im ersten Versuch, für den ich keine Erklärung weiß. Die mitgeteilten Windverhältnisse sind zum Teil sogar sehr günstig gewesen. Die beiden Standorte werden am vorteilhaftesten vom Süd- und vom Süd-Südwestwind getroffen, während bei Westwind und zum Teil auch bei Südwestwind die Hauptmasse der Säure an den Waldungen vorbeigeführt wird.

Der hohe Säuregehalt der Luft in einer nahezu $2^1/_2$ km betragenden Entfernung von der Rauchquelle machte den Wunsch rege, den Gehalt der Luft auch noch in größerer Entfernung zu untersuchen. Als ein geeigneter Standort, diese Absicht auszuführen, erwies sich der Aussichtsturm im Stadtwalde bei Aachen. Der Stadtwald ist ein bewaldeter niederer Höhenzug, der südwestlich von Aachen in der Entfernung von $4^1/_2$ km von Nordwest nach Südost verläuft. Der Aussichtsturm steht ungefähr in der Mitte des Höhenzuges und überragt die Erhebungen desselben beträchtlich, so daß man in der Spitze des Turmes eine ganz freie Umschau hat. Von hier sind die hohen Essen der Rauchquellen bei Stolberg sichtbar und bei ost-nordöstlicher Richtung sieht man den Rauch auf den Stadtwald zukommen. Die Entfernung beträgt $10^1/_4$ km in der Luftlinie. Hier in der Spitze des Turmes war ein sehr geschützter Standort, um die Versuche auszuführen. Selbst beim stärksten Sturm war man hier geborgen,

da der Turm mit Fenstern versehen ist. Hier sind nun einige Versuche und zwar nicht nur bei ost-nordöstlichem Winde ausgeführt worden.

Standort III. Aussichtsturm im Stadtwald. 10 1/4 km von den Stolberger Rauchquellen entfernt.

12. Versuch. Am 8. Oktober 1903 mit beiden Apparaten. West- und Nordwestwind. 1 3/4 Stunden sehr starker, 3/4 Stunden schwacher Regen. Durchgesogen wurden 2411 l Luft. — Die Waschflaschen ergaben folgende Werte:

I	0,0090 g	$BaSO_4$
II u. III	0,0005 „	„
1	0,0026 „	„
2 u. 3	0,0004 „	„
	0,0125 g	$BaSO_4$.

Diese Menge liefert 0,0034 g oder 1,18 ccm SO_2, was einem Gehalt von 1 : 2043000 entspricht.

13. Versuch. Am 13. Oktober 1903 von 9 Uhr V. bis 5^{30} N. mit beiden Apparaten. Südwind, starker Sturm; 4 Stunden starker Regen. Durchgesogen 2874 l. Die Waschflaschen lieferten folgende Werte:

I	0,0010 g	$BaSO_4$
II	0,0000 „	„
III	0,0000 „	„
1	0,0002 „	„
2	0,0000 „	„
3	0,0000 „	„
	0,0012 g	$BaSO_4$

liefern 0,0003 g oder 0,105 ccm SO_2, was einem Säuregehalt von 1 : 27370000 entspricht.

14. Versuch. Am 14. Oktober 1903 von 9^{30} V. bis 5 Uhr N. Vorherrschend Westwind, wenig Nordwest- und Südwestwind. 1 1/2 Stunden starker Regen, 1/2 Stunde schwache Niederschläge. Durchgesogen während des Versuches 2679 l Luft. Die Waschflaschen lieferten folgende Werte:

I	0,0070 g	$BaSO_4$
II	0,0015 „	„
III	0,0013 „	„
1	0,0056 „	„
2	0,0005 „	„
3	0,0000 „	„
	0,0159 g	$BaSO_4$.

Diese Menge liefert 0,0044 g oder 1,2 ccm SO_2, was einem Säuregehalt von 1 : 2232500 entspricht.

15. Versuch. Am 20. Oktober 1903 von 9^{45} Uhr V. bis 4^{30} N. mit beiden Apparaten. 6 Stunden Nordostwind bis Ostwind. Durchgesogen während des Versuches 2047 l Luft. Die Waschflaschen lieferten folgende Werte:

I	0,0096 g	$BaSO_4$
II	0,0021 „	„
III	0,0000 g	$BaSO_4$
1	0,0039 „	„
2	0,0011 „	„
3	0,0000 „	„
	0,0167 g	$BaSO_4$.

Diese Menge liefert 0,0046 g oder 1,2 ccm SO_2, was einem Säuregehalt der Luft von 1 : 1700000 entspricht.

16. Versuch. Am 21. Oktober 1903 von 9^{45} V. bis 5^{15} N. mit beiden Apparaten. 6 Stunden lang Nordostwind mit Herumspringen nach Nordwesten und Westen; $^3/_4$ Stunden lang Regen. Während des Versuches 2163 l Luft durchgesogen. Die Waschflaschen lieferten folgende Werte:

I	0,0121 g	$BaSO_4$
II	0,0010 „	„
III	0,0000 „	„
1	0,0023 „	„
2	0,0022 „	„
3	0,0000 „	„
	0,0176 g	$BaSO_4$.

Diese Menge liefert 0,0048 g oder 1,3 ccm SO_2, was einem Säuregehalt von 1 : 1664000 entspricht.

17. Versuch. Am 7. November 1903 von 8^{45} V. bis 4^{15} N. mit beiden Apparaten. Starker Ostwind. Vormittags starker Nebel, Nachmittags helles Wetter. Während des Versuches wurden 2184 l Luft durchgesogen. Die Waschflaschen lieferten folgende Werte:

I	0,0048 g	$BaSO_4$
II	0,0012 „	„
III	0,0000 „	„
1	0,0018 „	„
2	0,0005 „	„
3	0,0000 „	„
	0,0083 g	$BaSO_4$.

Diese Menge liefert 0,0023 g oder 0,8 ccm SO_2, was einem Säuregehalt von 1 : 2730000 entspricht.

Die Ergebnisse dieser Versuche, welche nachstehend mit der herrschenden Windrichtung zusammengestellt sind, lassen deutlich erkennen,

daß der Wind aus Nordosten gar nicht unbedeutende Mengen Säure dem Aussichtsturme zutreibt, so daß die Luft hier noch einen Säuregehalt von 1 : 1664000 besitzt.

12.	West- und Nordwestwind . .	1 : 2043000
13.	Südwind	1 : 27370000
14.	Westwind	1 : 2232500
15.	Nordost-Ostwind	1 : 1700000
16.	Nordostwind	1 : 1664000
17.	Starker Ostwind	1 : 2730000

Östlich vom Aussichtsturm liegen keine Rauchquellen, der Ostwind muß also noch ansehnliche Mengen Säure aus dem Stolberger Rauchschadengebiet mitbringen, da in dem Versuch 17 die Luft noch einen Säuregehalt von 1 : 2730000 aufwies, als starker Ostwind wehte. Soweit bekannt, liegen im Süden vom Aussichtsturm keine Rauchquellen. Damit steht im Einklang, daß der Säuregehalt der Luft bei Südwind 1 : 27370000 beträgt. Die hier gefundene geringe Menge Säure muß also aus einer anderen Himmelsrichtung hierher diffundiert sein, vermutlich aus westlicher Richtung. Wie die beiden Versuche 12 und 14 erkennen lassen, ist auch ein verhältnismäßig hoher Gehalt an Säure in der Luft, wenn der Wind aus westlicher Richtung weht, 1 : 2232500. Dies auf den ersten Blick überraschende Resultat erklärt sich auch ziemlich einfach. Westlich vom Aussichtsturm, etwa in 8 km Entfernung, liegt auf belgischem Gebiete Bleyberg mit Bleierzgruben. Die schweflige Säure stammt aus der Verhüttung dieser Erze. Mit den Ergebnissen dieser Luftanalysen steht die Tatsache in gutem Einklang, daß sich in Blättern und Nadeln, welche auf dem Südabhang des Aachener Stadtwaldes gepflückt wurden, durch die Destillation schweflige Säure nachweisen ließ. Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Säure aus Bleyberg stammt, da in Aachen die westlichen Winde vorherrschen. Sonst könnte als Quelle nur Aachen in Betracht kommen. Aber von hier aus müßte die Säure einmal über den Kamm hinübergeführt werden, zweitens böten dazu aber nur die nördlichen und nordöstlichen Winde, welche hier selten sind, Gelegenheit. Trotzdem bei westlichen und nordöstlichen Winden Luft mit einem immerhin nicht unbedeutenden Säuregehalt bis nach dem Stadtwald gelangt, ist doch von Säureschäden an den Bäumen bisher nichts beobachtet worden. Man darf daraus vielleicht schließen, daß bei einer Verdünnung von 1 : 1500000 bis 1 : 1750000 die Verdünnung vollständig unschädlich geworden ist.

Die auf dem Aussichtsturm gewonnenen Werte erscheinen überraschend hoch, namentlich, wenn man sie vergleicht mit den für den Probsteywald gewonnenen Zahlen. — Von vorne herein wird man eine viel größere Verdünnung in der Entfernung von 10 km erwarten, wenn in

ca. 2½ km Entfernung von der Rauchquelle im Probsteywalde die Verdünnung 1 : 300000 bis 1 : 500000 beträgt. In allen Fällen wurde ja Bedacht darauf genommen, die Versuche möglichst bei der für den einzelnen Fall vorteilhaftesten Windrichtung auszuführen. Die Verminderung des Säuregehaltes der Luft mit wachsender Entfernung scheint also langsamer vor sich zu gehen, als man im allgemeinen anzunehmen geneigt ist. Es wird daraus aber auch verständlich, daß der Rauchschaden sich auf so weite Entfernungen hin verbreiten kann, im Rauchschadengebiet bei der Clausthaler Silberhütte auf 7—8, im Myslowitz-Kattowitzer Gebiete auf 6—7 km.

Die namentlich für den Probsteywald ermittelten Zahlen machen es wahrscheinlich, daß der Gehalt auf größere Strecken sogar annähernd ziemlich gleich sein kann. Damit stimmen auch andere Beobachtungen überein. An anderer Stelle habe ich hervorgehoben, daß der Gehalt der Blattorgane an schwefliger Säure nur in der Nähe der Rauchquellen bedeutend ist, mit wachsender Entfernung aber nicht regelmäßig abnimmt, sondern auf weite Strecken annähernd konstant bleibt, und diese Beobachtung stimmt wieder überein mit den für den Schwefelsäuregehalt der Blattorgane von Reuß ermittelten Zahlen im Myslowitz-Kattowitzer Rauchschadengebiet.

Die von mir ermittelten Zahlen gelten zunächst nur für den betreffenden Ort, an dem der Versuch angestellt wurde, und für die damals herrschenden Umstände. Man wird aber behaupten dürfen, daß sie annähernd eine gute Vorstellung geben müssen von dem Säuregehalt der Luft an dem betreffenden Ort bei der vorherrschenden Windrichtung, da wir die Rauchquellen als konstant annehmen dürfen. Abweichungen wird die Windstärke mit sich bringen; mit zunehmender Windgeschwindigkeit wird der Gehalt an Säure wachsen, mit abnehmender sich vermindern. Durch Fortführung solcher Versuche ließe sich gewiß genügend genau ermitteln, in welchem Verhältnis der Säuregehalt der Luft durch die Windgeschwindigkeit, und wie er durch Regen und Nebel beeinflußt wird. Über die Verminderung des Säuregehaltes mit wachsender Entfernung müßte eine allgemeine Regel zu gewinnen sein, welche auf jedes Rauchschadengebiet übertragen werden könnte unter Berücksichtigung der verschiedenen aber bekannten Mengen Säure, welche in die Luft gelangt.

Zur Veranschaulichung, wie mit der Menge der in die Luft entlassenen schwefligen Säure auch die Konzentration in gleicher Entfernung sich ändert, kann ich einen Versuch aus dem Altenauer Rauchschadengebiet im Harze anführen. Den Versuch führte ich auf dem Ochsenberg in 1½ km Entfernung von der Altenauer Silberhütte, auf dem nach dem Tale zugekehrten Abhange, aus. Die Bäume sind hier bis auf einige hohe

durch den Rauch vernichtet, so daß der Wind frei herein wehen kann. Der kleine Apparat wurde in einem der freistehenden Bäume aufgehängt; die Luft wurde aber nicht in seiner Krone, sondern dicht über dem Boden aufgefangen, da der Wind über den Abhang hinstreichen konnte. Bei starkem günstigen Winde und sehr regnerischem Wetter wurde durch 3 Waschflaschen, welche mit dem Kaliumkarbonat gefüllt waren (150, 100, 100 ccm), am 27. August 1901 von 3^{15} Uhr N. bis 7 Uhr N. und am 28. August von 9^{45} Uhr V. bis 1 Uhr N. zusammen 1526 l Luft durchgesogen. Nach Beendigung des Versuches wurde der Gehalt der Absorptionsflüssigkeiten an Säure durch Titration mit Salzsäure festgestellt. Es ergab sich dabei ein sehr hoher Gehalt der Luft an Säure. Da mir derselbe ungewöhnlich hoch zu sein schien, habe ich später den Gehalt an Schwefelsäure in der Absorptionsflüssigkeit gewichtsanalytisch ermitteln lassen. Die Bestimmung lieferte 0,013 g $BaSO_4$, was 0,0035 g oder 1,2 ccm SO_2 ausmacht. Demnach war der Gehalt der Luft während der Versuchsdauer 1 : 1270000. Hier ist also in einer Entfernung von $1^1/_2$ km von der Rauchquelle der Gehalt der Luft an Säure geringer als im Probsteywalde. Wenn nun auch in keinem der beiden Fälle Bestimmungen der Windgeschwindigkeiten ausgeführt wurden, so ist es doch nicht wahrscheinlich, daß die Unterschiede der Hauptsache nach auf ungleiche Windgeschwindigkeiten zurückzuführen sind, sondern vielmehr auf die ungleichen Mengen Säure, welche von der Altenauer Hütte und den Stolberger Rauchquellen in die Luft entlassen werden. Die Menge schweflige Säure, welche die Altenauer Silberhütte jährlich in die Luft entläßt, beläuft sich auf 420 t[1]), während die Menge schweflige Säure, welche im Stolberger Rauchschadengebiet aus dem Kohlenverbrauch und der Fabrikation nach einer freilich älteren Zusammenstellung von Hasenclever[2]) sich jährlich auf 31330 t belaufen würde.

Der Vollständigkeit halber muß ich erwähnen, daß meine analytischen Untersuchungen der Luft nicht die einzigen und ersten sind, sondern daß bereits im Jahre 1901 von dem Forstrat Gerlach in Waldenburg in Sachsen ganz analoge Versuche mit einem nach dem gleichen Prinzip konstruierten Apparat veröffentlicht worden sind[3]). Da diese Veröffentlichung in einem mir unzugänglichen forstlichen Organ erschienen war, ist sie meiner Kenntnis entgangen, bis ich im letzten Sommer durch die Liebenswürdigkeit des Verfassers darauf aufmerksam gemacht worden bin.

---

[1]) Haselhoff und Lindau l. c. S. 158.

[2]) Über die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. Chem. Industrie 1879. S. A. S. 13.

[3]) Bericht über die 47. Vers. des Sächs. Forstvereins, gehalten zu Eibenstock 1901. Tharandt 1901. S. 134—137.

Gerlach benutzt als Aspirator ein großes Gefäß von 150 Liter Inhalt. Das Wasser läßt er auf den Boden laufen. Die Luft wird durch einen Trichter aufgefangen, der mittels eines langen Gummischlauches an den Absorptionsgefäßen befestigt ist; seine Länge ist so gewählt, daß der Trichter bis zu 10 m hoch aufgehängt werden kann. Als Absorptionsflüssigkeit dient Kalilauge, welche in 2 Kaliapparate verteilt ist. Die absorbierte schweflige Säure wird gewichtsanalytisch als Schwefelsäure bestimmt.

Mit diesem Apparat hatte Verfasser bei Veröffentlichung seiner Mitteilung 8 Bestimmungen ausgeführt, von denen er 3 genauer veröffentlicht. Bei dem ersten Versuch stand der Apparat ca. 400 m von einer brennenden Halde entfernt. Eine günstige und starke Luftströmung stand von der Halde auf den Apparat zu. In 1000 l wurden 4,75 mg Schwefelsäure gefunden, was einen Gehalt der Luft von 3,8 mg oder 1,3 ccm SO_2 entspricht. Verhältnis der Säure zur Luft 1 : 769000.

Die zweite und dritte Bestimmung beziehen sich auf eine große Papierfabrik. Bei der zweiten Bestimmung befand sich der Apparat 500 m, bei der dritten Bestimmung 2500 m von der Fabrik entfernt. Jene Bestimmung ergab einen Gehalt von 0,60 mg, diese von 0,50 mg Schwefelsäureanhydrit in 1000 l Luft.

0,60 mg SO_3 liefern 0,48 mg SO_2 und 0,17 ccm SO_2 1 : 5880000
0,50 „ „ „ 0,40 „ „ „ 0,14 „ „ 1 : 7150000

Bei diesen Bestimmungen handelt es sich um sehr viel geringere Werte als bei meinen Untersuchungen in der Probstey und zum Teil auf dem Aussichtsturm, wahrscheinlich wohl deshalb, weil die Rauchquelle erheblich kleiner ist, als in meinem Untersuchungsgebiet. In dem Punkt aber zeigen die Bestimmungen von Gerlach und die meinigen Übereinstimmung, daß mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle der Säuregehalt sich nicht so schnell vermindert, wie man annehmen würde. Auf dem Wege von 2 km hat sich der Gehalt der Luft an schwefliger Säure von 0,48 auf 0,40 mg im Kubikmeter verringert. Die Differenz ist so gering, daß man die Werte beinahe gleich setzen kann. Der Gehalt der Luft ist aber auf eine Strecke von 2,5 km annähernd gleich groß; damit ist hier das gleiche Verhalten wie in der Probstey festgestellt.

Da die Luft, welche in der Probstey analysiert wurde, aus den Wipfeln der Bäume entnommen wurde, geben meine Zahlen nur den Gehalt der Luft, welche über den Wald hinstreicht, und zunächst nur die Wipfel der Bäume trifft. In den Wald selbst gelangt die Säure nur durch Diffusion, da die Massenbewegung sich nicht durch den Wald hindurch fortpflanzt. Wie groß der Gehalt dieser Luft an Säure ist, wurde von mir nicht bestimmt. Darüber geben auch die Untersuchungen von Wisli-

cenus[1]) keinen Aufschluß, der mit den Ost'schen »Probelappen« nachwies, daß die Säure in die Bestände eindringt.

Bei meinen Berechnungen habe ich immer die Voraussetzung gemacht, daß die gefundene Säure als schweflige Säure in der Luft gewesen ist. Es läßt sich nun nicht entscheiden, ob diese Annahme absolut oder bis zu welchem Grade sie richtig ist, denn die Oxydation kann teilweise bereits in der Luft erfolgt gewesen sein. Für die Wirkungsweise der Säure auf die Pflanzen wäre die Kenntnis des Verhältnisses zwischen schwefliger und Schwefelsäure sehr wünschenswert. Denn wenn z. B. die Hälfte der Säure bereits beim Auffangen in Schwefelsäure übergegangen wäre, dann wäre die zur Wirkung kommende schweflige Säure nicht, wie vielleicht der Versuch ermittelt haben mochte, 1 : 400000, sondern 1 : 800000, während für die Schwefelsäure als wirkende Konzentration 1 : 800000 anzusetzen wäre. Wenn die Versuche von Gerlach und mir lehren, daß der Gehalt der Luft an Säure auf verhältnismäßig weite Strecken unverändert bleibt, so könnte sich aber das Verhältnis der beiden Säuren nebeneinander mit wachsender Entfernung zugunsten der Schwefelsäure ändern, was nicht ohne Einwirkung auf die Pflanzen bleiben müßte.

Eine Vermehrung der Bestimmungen des Säuregehaltes der Luft in verschiedenen Rauchschadengebieten würde meines Erachtens nach sehr wünschenswert sein. Es ließe sich das auch leicht ausführen, wenn man einen automatisch arbeitenden Apparat konstruieren würde, damit man die für einen gebildeten Menschen lästige Beschäftigung des Aufwindens und Auswechselns der Aspiratorgefäße vermiede. Es stehen der Konstruktion eines derartigen Apparates keine unüberwindlichen Schwierigkeiten entgegen, nur würde er ziemlich kostspielig werden, was mich davon abgehalten hat, einen solchen konstruieren zu lassen. Mit einem automatisch arbeitenden Apparat würde man aber eine quantitative Methode erhalten, welche zur Feststellung von Rauchschäden in vielen Fällen gewiß zweckmäßig verwendet werden könnte. So lange ein solcher Apparat fehlt, wird man nicht erwarten können, daß eine größere Zahl von Luftanalysen ausgeführt werden wird, aber gerade auf die große Zahl kommt es an. Dahingegen kann auch der Handapparat als qualitative Methode Verwendung finden, um festzustellen, welche Säure in dem betreffenden Rauchschadengebiet als der Schädiger in Anspruch zu nehmen ist. Wenn nun auch für meine Zwecke vorwiegend die schweflige resp. Schwefelsäure in Betracht kam, so habe ich doch in einigen Versuchen die Luft auch auf einen eventuellen Gehalt an anderen Säuren prüfen lassen. So wurde bei Versuch 6 die

[1]) Über eine Waldluftuntersuchung in den sächsischen Staatsforstrevieren und die Rauchgefahr im allgemeinen. 46. Vers. des Sächsischen Forstvereins in Eibenstock 1901. Freiberg i. S. 1901.

Absorptionsflüssigkeit auf die Gegenwart von Salzsäure untersucht. Die Säure wurde als Chlorsilber bestimmt. Der gesamte Inhalt der Vorlagen lieferte 0,00465 g AgCl, was 0,0012 g oder 0,7 ccm HCl entspricht. Bei 2834 l Luft gibt das ein Verhältnis von 1 : 4050000. Der Gehalt an schwefliger Säure in der Luft betrug 1 : 450000. Es ist demnach mehr als zehnmal so viel schweflige Säure als Salzsäure in der Luft vorhanden. Letztere kann nur in ganz untergeordneter Weise an den Beschädigungen des Probsteywaldes beteiligt sein, und die geringe Widerstandsfähigkeit der hochstämmigen Eichen im Vergleich mit den Buchen kann nicht auf die Wirkung der Salzsäure zurückgeführt werden, wie Danckelmann[1]) vermutungsweise angenommen hat.

In einem besonderen Versuch aus der kleinen Probstey habe ich die Absorptionsflüssigkeiten auf Stickstoffsäuren untersuchen lassen. Es ließ sich ihre Gegenwart nachweisen, doch nehme ich davon Abstand, Zahlen anzuführen, da ich nicht sicher bin, daß bei der quantitativen Bestimmung alle Vorsichtsmaßregeln beobachtet worden sind.

Würde man einen automatisch arbeitenden Apparat zur Verfügung haben, so würden auch die qualitativen Bestimmungen der Säuren in der Luft erleichtert werden, indem man beliebig große Luftmengen durch den Apparat hindurchsaugen könnte und so ausreichende Mengen Säuren zur Analyse gewinnen würde.

Aus dem in der angegebenen Weise ermittelten Gehalt der Luft an schwefliger Säure läßt sich mit Leichtigkeit beurteilen, ob die Säure an einem bestimmten Orte schädlich auf die Pflanzen einwirken kann. Wenn bei 1 : 500000 die Unschädlichkeitsgrenze liegt, so kann an den Standorten, wo Forstrat Gerlach seine Untersuchungen ausführte, keine Schädigung der Pflanzen eintreten, da die Verdünnung der Säure in der Luft zu bedeutend ist: 1 : 769000, 1 : 5880000, 1 : 7150000. Ebensowenig kann eine Schädigung auf dem Ochsenberg im Okertale statthaben, wenn der Gehalt 1 : 1270000 beträgt. Bei dieser Bestimmung wehte ein kräftiger Wind, der gerade von der Hütte auf den Beobachtungsposten zu stand. Wenn an dieser Stelle eine Schädigung hervorgerufen werden soll, so muß der Wind noch sehr viel heftiger wehen, damit eine höhere Konzentration dahin gelangt. Treten nun an solchen Stellen, wo selbst bei günstiger Windbewegung die Verdünnung weit unter der Schädlichkeitsgrenze bleibt, Schäden auf, und wird die Baumvegetation mit der Zeit vernichtet, so kann es sich hier nicht um eine direkte Einwirkung

[1]) Gutachten in Sachen des Rechtsstreites des Eschweiler Bergwerks-Vereins gegen die Chemische Fabrik Rhenania wegen Beschädigung des Probsteywaldes durch Rauch. Eberswalde, 6. Januar 1883.

der in der Luft enthaltenen Säure handeln. Eher wäre anzunehmen, daß die Ermittlung der Schädlichkeitsgrenze unrichtig wäre. Letzteres ist nicht wahrscheinlich, da die Berechnung des Säuregehaltes in der Luft des Räucherhauses eher zu niedrige als zu hohe Werte gibt. So bleibt nichts anderes übrig, als die Wirkung der Säure als eine indirekte aufzufassen, und da kann natürlich nur der Boden in Betracht kommen, in dem jedes niedergeschlagene Säureteilchen zur Verschlechterung desselben beiträgt. Systematisch ausgeführte Luftanalysen an demselben Standort eines Rauchschadengebietes bei verschiedenen Windstärken müßten ganz wesentlich dazu beitragen, die Frage zu entscheiden, ob die Säure direkt auf die Pflanzen oder indirekt durch eine Verschlechterung des Bodens wirkt.

Kapitel VIII.

Die Rauchexpertise.

Man ist wohl berechtigt, die Frage aufzuwerfen, ob die vorstehenden Untersuchungen zur sichereren Begründung der Rauchexpertise etwas beitragen können. Ein einfaches sicheres Mittel, um ohne Schwierigkeiten die schädlichen Wirkungen von Rauch zu erkennen, hat sich nicht ergeben, ist auch nicht zu erwarten, weil der Vorgang der Beschädigung der Pflanzen und ihre schließliche Zerstörung ein verwickelter Vorgang ist und die Möglichkeiten für die Pflanzen, darauf zu reagieren, sehr beschränkt sind.

Ein befriedigendes Ergebnis hat die anatomische Untersuchung der Beschädigungen nicht geliefert. Die Veränderung im Zellinnern sind bedeutender oder geringer, je nachdem die Zellen langsamer oder schneller abgestorben sind. Dieser Umstand scheint von größerer Bedeutung zu sein, als die Todesursache selbst. Allerdings ist es nicht ausgeschlossen, daß, wenn man imstande wäre, bei den von mir untersuchten Pflanzenarten Beschädigungen, welche aus einer Reihe anderer Todesarten herrühren, zu prüfen, man doch noch brauchbare anatomische Eigentümlichkeiten finden würde. Vielleicht ist in dem Auftreten eines grünlichen Farbentones in den Membranen der durch Säure getöteten Zellen, wenn die Schnitte in Methylenblaulösung gelegt werden, eine charakteristische Reaktion gefunden. Aber auch hier sind vorerst noch weitere Vergleiche erforderlich, um festzustellen, ob nicht auch beim langsamen Absterben der Blattzellen durch andere Ursachen dieselbe Reaktion bemerkbar wird. Weitere Untersuchungen müßten auch erst entscheiden, ob das geschilderte Verhalten gegen Methylenblaulösung eine charakteristische Reaktion auf die Einwirkung von schwefliger Säure oder von Säure schlechthin ist.

Vielleicht ist eine spezifische Reaktion auf Säurewirkung bei der Buche das Auftreten von gelblichen bis rotbraunen Kugeln oder Klumpen in den Epidermiszellen, während die vorzeitige herbstliche Verfärbung der chronisch beschädigten Buchen keine charakteristischen, anatomischen Merkmale erkennen läßt. Es spielen sich die normalen herbstlichen Verände-

rungen in den Zellen nur zeitiger ab, als bei nicht beräucherten Exemplaren.

Eine einwandfreie spezifische Reaktion auf schweflige Säure habe ich nur beim Weinstock gefunden. Eine Varietät[1]) — vielleicht zeigen auch noch andere Varietäten dieselbe Erscheinung — deren Namen ich allerdings nicht anzugeben vermag, und die erst wieder durch neue Versuche herausgefunden werden muß, reagiert in sehr auffälliger Weise auf die schweflige Säure, indem in den Epidermiszellen, Palisaden- und event. auch Schwammparenchymzellen ein roter Farbstoff auftritt, der bei nicht beräucherten und bei mit Salzsäure beräucherten Exemplaren ausbleibt. Vermutlich ist es derselbe Farbstoff, der die rote herbstliche Verfärbung des wilden Weines bewirkt. Es handelt sich hier tatsächlich um eine Reaktion auf die schweflige Säure, und da der Weinstock unverkennbar sehr empfindlich ist, so würde diese Varietät vielleicht ein Mittel zur Erkennung von durch schweflige Säure hervorgerufenen Rauchschäden bieten. Sie müßte sich sehr gut als »Fangpflanze« eignen, wenn sie als Topfpflanze in verschiedenen Entfernungen von der Rauchquelle aufgestellt oder gar ausgepflanzt würde, vielleicht noch vorteilhafter als die von Sorauer[2]) empfohlene Bohne (Phaseolus vulgaris) und die von Haselhoff und Lindau[3]) ausfindig gemachten Polygonaceen, jedenfalls ist seine Reaktion eigenartiger. Es würde sich empfehlen, wenn in einem Rauchschadengebiet einmal Versuche mit den verschiedenen »Fangpflanzen« angestellt würden, um zu entscheiden, ob die aus den Experimenten gefolgerte Empfindlichkeit auch tatsächlich groß genug ist, ob die Pflanzen noch in den Entfernungen von der Rauchquelle, wo die Erkennung der Rauchschäden anfängt, Schwierigkeiten zu bereiten, auf die Säure reagieren. Bestätigte sich die hohe Empfindlichkeit der Fangpflanzen im Freien, so ließe sich auf Grund derselben gewiß eine brauchbare Methode zur Ermittlung von Rauchschäden entwickeln, und man würde der mühsamen und kostspieligen Schwefelsäurebestimmung entraten können. Man darf bei diesen Versuchen aber einen Umstand nicht außer acht lassen, der leicht zu Irrtümern Veranlassung geben könnte. Es ist nämlich erforderlich, daß die Fangpflanzen den ihnen zusagenden Boden vorfinden, da sie sich gut und kräftig entwickeln müssen, wenn man mit Sicherheit Veränderungen auf die Säurewirkung zurückführen will, namentlich wenn bei

---

[1]) Da mir die entsprechende Literatur und sonstigen Hilfsmittel fehlen, bin ich außerstande, den Namen zu ermitteln.

[2]) P. Sorauer und E. Ramann, Sogenannte unsichtbare Rauchbeschädigungen. Bot. C. LXXX 1899. S. A. S. 35.

[3]) l. c. S. 77.

schwacher Säurewirkung nur Farbenveränderungen in Betracht kommen. Schon vor mehreren Jahren habe ich in der Probstey Bohnen aussäen lassen. Dieselben entwickelten sich sehr mäßig, aber es schien mir unzulässig, die schlechte Entwicklung auf die Wirkung der Säure in der Luft zurückzuführen, vielmehr habe ich dem Boden die Schuld zugemessen. Eine vorherige Kalkdüngung hätte vielleicht ein anderes Resultat geliefert. Die Versuche wurden bisher von mir nicht wiederholt. Zu großen Erfolg darf man sich meines Erachtens aber von dem Fangpflanzenbau namentlich bei Beschädigungen der Wälder nicht versprechen. In größerer Entfernung von der Rauchquelle, wo die Erkennung der Rauchschäden schwierig wird, werden besonders die Wipfel der hohen Bäume getroffen. Niedrige Pflanzen wie die Bohne sind der Schädigungsgefahr hier viel weniger ausgesetzt als die hohen Bäume. Das Ausbleiben von Beschädigungen an den Bohnen wäre noch kein zwingender Beweis, daß die an den Bäumen auftretenden Beschädigungen nicht von der Säure herrühren. Nur ein positives Ergebnis mit den Fangpflanzen würde verwertbar sein.

Da ich feststellen konnte, daß in beräucherten Blattorganen die schweflige Säure als solche, wenn auch in geringer Menge, erhalten bleibt, so drängt sich die Frage auf, ob nicht die bisher geübte Methode der Rauchschadenermittlung aus dem Schwefelsäuregehalt durch den Nachweis der schwefligen Säure als solcher ersetzt werden könnte. Diese Methode hätte den Vorzug der größeren Einfachheit für sich und würde für manchen größere Überzeugungskraft besitzen, da die schweflige Säure in den Blattorganen nur aus der Luft stammen kann und durch den Nachweis derselben in ihnen auch für den Ungläubigsten ein entsprechender Gehalt der Luft an schwefliger Säure erwiesen wird. Einen etwas höheren Gehalt der Blattorgane an schwefliger Säure habe ich nur in größerer Nähe der Rauchquellen feststellen können, und hier würde die Destillationsmethode unzweifelhaft darüber Aufschluß geben, daß die Ursache der Beschädigung in der schwefligen Säure und nicht in einer anderen Säure oder einem anderen Umstande zu suchen ist. Mit der Entfernung von der Rauchquelle nimmt aber der Gehalt an schwefliger Säure in den Blattorganen erheblich ab, und die Unterschiede im Gehalt sind selbst bei wechselnder Entfernung sehr unbedeutend; ja der Gehalt ist vielfach in notorischen Rauchschadengebieten nicht beträchtlicher als in solchen Gegenden, wo wohl Rauch in großer Verdünnung hingelangt, aber Klagen über eigentliche Beschädigungen bisher nicht laut geworden sind, so daß man zweifelhaft werden kann, ob solche Mengen überhaupt noch schädlich sind und Rauchbeschädigung anzeigen. Hier wäre von weiteren systematischen Untersuchungen Aufschluß zu erwarten. Auch wäre zu ermitteln, in welchem

Verhältnis die Zunahme der Schwefelsäure in den beräucherten Blättern zu ihrem Gehalt an schwefliger Säure steht. Sollte zwischen beiden ein konstantes Verhältnis bestehen, so würde die Ermittlung des Gehaltes an schwefliger Säure in den Blattorganen, wenn er auch nur gering ist, als Maßstab für den Beräucherungsgrad verwendbar sein.

Der Nachweis der Schwefelsäure in der Asche der Blattorgane oder Achsen zum Nachweis von Rauchbeschädigung ist vielfach aus den verschiedensten Ursachen angegriffen worden. Es muß zugegeben werden, daß, wenn der Schwefelgehalt in den Pflanzenteilen bestimmt werden soll, das wohl am zweckmäßigsten durch die mit allen Kautelen gegen Verlust von Schwefel umgebene Veraschungsmethode geschieht. Aber diese Auffassung hat sich nicht ohne Widerspruch eingebürgert. Freytag[1]) z. B. war keineswegs der Meinung, daß dieser Weg der zum Nachweis der aus der Luft von den Pflanzenteilen aufgenommenen Säure geeignete wäre, vielmehr vertrat er die Auffassung, daß sich der aus der Luft aufgenommene Schwefel in wasserlöslicher Form in den Zellen vorfinden müsse. Er schlug zur Bestimmung dieses Schwefelgehaltes vor, die Blätter normaler und kranker Pflanzen mit Wasser zu extrahieren, in diesem Extrakt die Schwefelsäure zu bestimmen und die Zunahme ihres Gehaltes in dem Blattextrakt der kranken Pflanzen als die Menge Schwefel anzusehen, welche aus der Luft aufgenommen wurde. Gegen dieses Verfahren hat v. Schroeder[2]) Bedenken geltend gemacht, denen man sich nur anschließen kann. Immerhin erachtete König[3]) den von Freytag geäußerten Gedanken als der Prüfung wert. Er hat drei Proben nach der Einäscherungs- und der Extraktionsmethode vergleichend untersucht. Die Analysen haben sehr eigentümliche Resultate geliefert, über die man meiner Ansicht nach ohne eine befriedigende Erklärung hinweggegangen ist. Indem ich die Analysenergebnisse noch einmal wieder anführe, möchte ich die Aufmerksamkeit auf dieselben hinlenken, in der Hoffnung, daß man noch nachträglich die Erklärung dafür liefert.

		In 100 Teilen Trockensubstanz sind Schwefelsäure enthalten	
		durch Einäschern mit Soda	durch Extrahieren mit Wasser
1. Fichte	krank	0,695	0,664
	gesund	0,501	0,282

[1]) Landwirtschaftliche Versuchsstationen 1879 S. 420. Zitiert nach v. Schroeder u. Reuß, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Berlin 1883. S. 123.

[2]) l. c. S. 124.

[3]) Zweiter Bericht der Landw. Versuchsstation Münster für die Jahre 1878 bis 1880. Münster 1881. S. 43.

(Fortsetzung der Tabelle S. 377.)

		In 100 Teilen Trockensubstanz sind Schwefelsäure enthalten	
		durch Einäschern mit Soda	durch Extahieren mit Wasser
2. Birnbaum . .	krank	0,404	0,389
	gesund	0,300	0,149
3. Pflaumenbaum .	krank	0,523	0,507
	gesund	0,420	0,223

Diese drei Versuche zeigen einen höheren Schwefelsäuregehalt in den kranken als in den gesunden Blättern. Betrachtet man ferner die Analysen der kranken und der gesunden Blätter der drei Pflanzen getrennt für sich, so zeigen sie untereinander sehr schöne Übereinstimmung. Bei den kranken Blättern erhält man nach beiden Methoden annähernd gleich viel Schwefelsäure, bei den gesunden Blättern ungefähr halb so viel nach der Extraktionsmethode wie nach der Einäscherungsmethode. In den kranken Blättern ist der Gehalt an Schwefelsäure gegenüber den gesunden nach der Einäscherungsmethode um ein Drittel, nach der Extraktionsmethode aber um 127—161 % gestiegen. Das ist doch ein sehr überraschendes Ergebnis, das dringend der Erklärung bedarf. Da methodische Fehler als ausgeschlossen gelten müssen, so lassen obige Analysen keine andere Erklärung zu, als daß durch die Aufnahme von Säure aus der Luft in den Zellen derartige Zustände geschaffen werden, daß in gesunden Blättern in Wasser unlösliche Verbindungen in lösliche Sulfate übergehen. Mir scheint dies Ergebnis sehr merkwürdig, so daß man Veranlassung nehmen sollte, diese Erscheinung näher zu untersuchen.

So viel ich sehen kann, hat König diese Zahlen ohne Kommentar hinausgehen lassen. v. Schroeder hat freilich an ihnen Anstoß genommen, setzt sich aber über dieselben hinweg, indem er die Analysen als Beleg für „die Unmöglichkeit der Beschaffung eines idealen Vergleichsmaterials“ betrachtet. Dieser Einwand ist ganz hinfällig, denn das Verhältnis zwischen den beiden Methoden muß ebenso gut wie bei dem gesunden auch bei dem kranken Material das gleiche sein, selbst wenn das gesunde mit dem kranken Material unvergleichbar sein sollte. Auch Haselhoff und Lindau[1]) nehmen diese Zahlen wieder auf und folgern sogar aus ihnen, „daß es einerlei sein muß, welches der erwähnten Verfahren man anwenden will“. Der Schluß ist unzutreffend, denn bei den gesunden Blättern differieren die Ergebnisse nach den beiden Methoden um 50 %. Den einzigen Schluß, den man aus diesen Analysen ziehen kann, ist der, daß man nur die Einäscherungsmethode verwenden kann, wenn man übereinstimmende und vergleichbare Werte erhalten will. Auch

[1]) l. c. S. 387.

die Extraktionsmethode mit Salpeter-Salzsäure ist nicht verwendbar, denn ihre Ergebnisse stimmen bald mit denen der Einäscherungs-, bald mit denen der Extraktionsmethode mit Wasser überein.

Da die Pflanzenteile normalerweise einen bestimmten Gehalt an Schwefel besitzen, so wird besonderes Gewicht darauf gelegt, nicht nur die kranken Blätter auf ihren Schwefelgehalt zu untersuchen, sondern auch gesundes Vergleichsmaterial. Nun ist aber solches vielfach schwer oder unmöglich zu beschaffen, und aus diesem Grunde wäre es wünschenswert, wenn man der Bestimmung der Schwefelsäure in der Asche der Pflanzenteile ganz entraten könnte.

Die Schwefelsäuremethode ist unter anderem auch von R. Hartig[1]) angegriffen worden, indem er darauf hinwies, daß ein Überschuß an Schwefelsäure in den Pflanzen noch nicht notwendigerweise schädlich zu sein brauchte. Damit hat er unzweifelhaft ganz Recht. Läßt sich weder makroskopisch noch mikroskopisch eine Beschädigung der Blattorgane oder auf anderem Wege eine Beeinträchtigung ihrer normalen Funktionen nachweisen, so darf aus einem höheren Gehalt der Blattorgane beräucherter Pflanzen noch nicht auf eine Beschädigung derselben geschlossen werden. Die Konsequenz dieser Auffassung hat man auch in der Praxis gezogen. Im Clausthaler Rauchschadengebiet hat man die Krummholzkiefer angepflanzt, welche sich zufriedenstellend entwickelt und nicht unter dem Hüttenrauch leidet. Nichtsdestoweniger kann sie erhebliche Mengen Säure aus der Luft aufnehmen. Bei einer vergleichenden Analyse wurden Nadeln von einem Standort, der $^1/_2$ km von der Hütte entfernt ist, und Nadeln aus einer Entfernung von $2^3/_4$ km miteinander verglichen. Jene enthielten 0,327 %, diese 0,138 % Schwefelsäure. Dieser doppelt so hohe Gehalt an Säure ist ohne Schaden für die Pflanzen. Ähnlich mag es auch bei anderen Fällen liegen. Wenn Reuß[2]) findet, daß die von ihm untersuchten Fichten in dem v. Tiele-Winckler'schen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz zwei- bis viermal so viel Säure in den Nadeln enthalten als normal ist, so geht daraus noch nicht hervor, daß diese Säure den Nadeln resp. den Bäumen gefährlich wird, sondern nur, daß sie in einer Atmosphäre leben, aus der sie Säure aufnehmen können, und daß die aufgenommene Menge in einem bestimmten Verhältnis zu dem Gehalt der Luft an Säure steht. Während ein hoher Gehalt an Säure in den Blattorganen diesen nicht schädlich zu werden braucht, können stark beschädigte einen geringen Gehalt aufweisen, weil es ja wesentlich auf die Konzentration der einwirkenden Säure ankommt.

---

[1]) Über die Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauches auf die Gesundheit der Nadelbäume. München 1896. S. 6.

[2]) Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Winckler'schen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz. Goslar 1893. S. 22.

„Von allen Experimentatoren ist bisher konstatiert worden, daß gerade sehr heftige, kurze und plötzliche Angriffe geradezu todbringend sein können, ohne daß die analytische SO_3-Zahl wesentlich gesteigert erscheint, ferner, daß umgekehrt sehr hohe SO_3-Gehalte bei chronischem Verlauf gefunden werden, ohne daß selbst die ersten Krankheitssymptome zu beobachten wären[1])." Eine kurze Einwirkung einer Konzentration von 1 : 100000 wird vielleicht die Blattorgane töten, während sie unter einer Konzentration von 1 : 500000, selbst wenn sie eine ganze Vegetationsperiode hindurch einwirkt, ganz gesund bleiben. Im letzteren Fall werden wir in ihrer Asche einen hohen, im ersteren Fall einen geringen Gehalt an Schwefelsäure erwarten dürfen.

Nach alledem scheint mir, daß das Ergebnis der Schwefelsäureanalysen nur mit Vorsicht aufzunehmen ist. Die Analyse selbst wird in erster Linie darüber entscheiden, welche Säure als schädigend in Frage kommen kann.

Von mehr ausschlaggebender Bedeutung würde meiner Ansicht nach sein, um die Verbreitung der Rauchwirkung zu ermitteln, die Luft des betreffenden Rauchschadengebietes zu analysieren. Aus dem Gehalt derselben an Säure würde man feststellen können, bis zu welcher Entfernung von der Rauchquelle eine direkte Beeinflussung der Pflanzen durch die Säure angenommen werden muß. Im vorstehenden Abschnitt habe ich dargelegt, daß solche Analysen ausführbar sind und daß sie sehr brauchbare Resultate versprechen, namentlich wenn sie in größerer Zahl ausgeführt werden würden, wozu allerdings ein automatisch wirkender Apparat erforderlich wäre.

Man darf bei Beurteilung von Rauchwirkungen künftighin nicht außer acht lassen, daß bei der Beschädigung und der Zerstörung der Vegetation auch der Boden eine wichtige Rolle spielen muß; namentlich kommt es bei Waldungen in Betracht, kann aber wohl auch für Baumpflanzungen in den Städten von Bedeutung sein. Man wird damit rechnen müssen, daß die schädliche Beeinflussung der Pflanzen durch die Säure aus der Luft sich nicht soweit erstreckt, wie die Beschädigungen, welche durch eine Verschlechterung des Bodens infolge der Säureeinwirkung hervorgerufen werden, reichen. Es ist noch durch entsprechende Düngungsversuche zu entscheiden, welchen Anteil der Boden und welchen Anteil die direkte Luftwirkung an der Zerstörung der Baumvegetation nimmt. Die Veränderung der Bodenbeschaffenheit muß sich chemisch besonders in dem

[1]) Wislicenus, Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. Zeitschr. für angewandte Chemie 1901, Heft 28. S. A. S. 12.

Auftreten von freier Humussäure bemerkbar machen, biologisch in einer Änderung der Flora und Fauna. Durch Untersuchung dieser Verhältnisse, namentlich durch Prüfung der Böden auf das Verhalten der Mikroorganismen, welche bei der Bildung des Humus beteiligt sind, und durch das Studium der Veränderung der krautigen Vegetation muß man sichere Anhaltspunkte zur Beurteilung der Bodenveränderung, welche nur in einer Verschlechterung bestehen kann, erhalten.

Eine durch die Säurewirkung hervorgerufene Bodenverschlechterung in den Rauchschadengebieten ist Tatsache, wenn man sie bislang auch nicht berücksichtigt hat. Es bleibt noch zu entscheiden, welchen Anteil an der Vernichtung der Wälder die Bodenverschlechterung und welchen die Einwirkung der Säure auf die Blattorgane nimmt. Diese Entscheidung kann nur so getroffen werden, daß man die Bodenverschlechterung aufhebt; es muß dann deutlich hervortreten, welchen Schaden die durch die Blattorgane aufgenommene Säure stiften kann. Der Bodenverschlechterung ist durch zweckentsprechende Düngung zu begegnen. Im Interesse der Wichtigkeit der Frage wäre es wünschenswert, wenn derartige Düngungsversuche in den verschiedensten Rauchschadengebieten ausgeführt würden; in geringem Umfange würde zunächst einmal genügen. Einstweilen hat das königl. preuß. Ministerium für Landwirtschaft, Domänen und Forsten beschlossen, Versuche anstellen zu lassen.

Wenn sich bei den Düngungsversuchen ergeben sollte, daß die Zerstörung des Waldes durch Rauch zum größten Teil der Bodenverschlechterung zur Last zu legen ist, wie ich vermute, so würde sich die Aussicht eröffnen, daß dieser Zerstörung eine gewisse Grenze gesetzt werden könnte. Durch Düngung mit kohlensaurem Kalk könnte man einer Bodenverschlechterunng vorbeugen, indem die in den Boden eindringende Säure stets ausreichende Basen zur Neutralisation finden würde. Die Grenze für die Zerstörung würde dann dort zu suchen sein, wo die direkte schädliche Einwirkung der gasförmigen Säure auf die Blattorgane aufhört. Bis dahin würde allerdings wohl der Wald preiszugeben sein. Als Ackerland, da es regelmäßig gedüngt würde, ließe es sich aber noch verwerten. Natürlich würde das von den lokalen Verhältnissen abhängen; hier können nur die allgemeinen Gesichtspunkte hervorgehoben werden. Unter dem Gesichtspunkte der Bodenverschlechterung würden die niedrigen Kamine den hohen vorzuziehen sein. Die entweichenden Säuren würden sich über ein beschränktes Gebiet verbreiten, hier verheerend wirken, aber man könnte ihre Wirkung vielleicht mit nicht zu großen Kosten lokalisieren, während die hohen Kamine die Säure auf ein weiteres Gebiet verteilen und dadurch größere Waldpartien in Mitleidenschaft ziehen würden. Infolge der

Verteilung auf eine größere Fläche hört die Zerstörung nicht auf, sondern wird nur verlangsamt.

Nicht minder wird sich die Aussicht eröffnen, Ländereien, deren Wald durch den Hüttenrauch vernichtet worden, der Kultur wieder zurückzugewinnen. So lange man sich dem Glauben hingab, daß die Vernichtung der Vegetation ausschließlich durch eine Einwirkung der Säure auf die Blattorgane vor sich ginge, konnte man an Aufforstung nicht denken, da man immer wieder eine Zerstörung der Bäume erwarten mußte. Jenseits der Unschädlichkeitsgrenze muß eine Aufforstung möglich sein, wenn man für eine entsprechende Bearbeitung und Düngung des Bodens Sorge trägt. Es erscheint mir höchst unwahrscheinlich, daß diese Grenze im Innerstetal 8 km und im Okertal 6 km entfernt von der Hütte liegen soll. Vermutlich erstreckt sie sich nur auf eine sehr kleine Entfernung von der Hütte. Die anderen Schäden müssen auf eine Bodenverschlechterung zurückgeführt werden. Ähnlich mag es in anderen Rauchschadengebieten stehen. In früheren Dezennien wird die Unschädlichkeitsgrenze an vielen Orten wahrscheinlich in größerer Entfernung von der Hütte gelegen haben als heute, da vielfach Einschränkungen im Betriebe stattgefunden haben oder Einrichtungen getroffen worden sind, wodurch erheblich weniger Säure in die Luft gelangt als früher. Durch das furchtbare Bild der Verwüstung, welche die seit Dezennien beräucherten Waldungen darbieten, läßt man sich verleiten die Unschädlichkeitsgrenze in zu großer Entfernung von den Rauchquellen zu suchen. Zum Teil kommen bei dieser Verwüstung noch die Sünden früherer Zeiten zum Vorschein. Wenn in fast unmittelbarer Nähe von Hütten das Eichenschlagholz dezennienlang vegetiert, ohne wesentliche Veränderungen zu zeigen, oder wenn das Heidekraut sich erst ansiedelt, wenn der Fichtenwald vernichtet worden ist, so drängt sich unwillkürlich der Gedanke auf, daß die Gefahr, welche den Pflanzen durch die Aufnahme von Säure aus der Luft droht, unmöglich so außerordentlich groß sein kann. Durch Anpflanzungsversuche in bestimmten Entfernungen von der Rauchquelle auf gut bearbeitetem und gedüngtem Boden muß es möglich sein, die Entfernung der Unschädlichkeitsgrenze festzustellen. Hinter dieser Grenze würde der Gehalt der Luft an Säure für die Pflanzen unschädlich sein, wenn ihre nachteilige Wirkung auf den Boden ausgeschlossen würde.

Für die Aufbesserung des Bodens wäre vor allen Dingen eine Düngung mit kohlensaurem Kalk erforderlich, um für die freie Humussäure und für die Zukunft die auf den Boden gelangenden Mineralsäuren zu binden. Da zu erwarten ist, daß der Boden auch an den anderen Nährstoffen verarmt ist, so müßte eventuell auch für sie Sorge getragen werden. Der erforderliche Stickstoff wäre gewiß durch Anpflanzung von Stickstoff-

sammlern dem Boden zuzuführen[1]). Auf solche Weise müßte es möglich sein, brachliegende Ländereien wieder aufzuforsten. Ob es mit Erfolg ausführbar ist, scheint mir lediglich eine Frage der Kosten zu sein. Aber selbst durch diese sollte man sich nicht abhalten lassen, Versuche im kleinen anzustellen; denn entspricht der Erfolg den theoretischen Forderungen, so findet sich vielleicht auch ein Weg, die Pflege eines solchen Waldes so billig zu gestalten, daß seine Erhaltung rentabel wird. Übrigens kommen bei Erhaltung des Waldes namentlich in der Nähe der Industriestädte noch andere Gesichtspunkte als die pekuniären in Betracht.

[1]) R. Albert, Welche Erfahrungen liegen bis jetzt über den Einfluß künstlicher Düngung und Bodenbearbeitung im forstlichen Großbetriebe vor? In welcher Weise und nach welcher Richtung hin sind Versuche hierüber fernerhin anzustellen? Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. XXXVII. März 1905.

Tabellen.

Tabelle I.

A. Normale Atmung.

Atmungsversuch mit Buche 1.

Datum	Zeit von	Zeit bis	Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg	Datum	Zeit von	Zeit bis	Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg
30. VII.	4^{30} N.	5^{30} N.	1	38	31. VII.	4^{55} N.	5^{55} N.	1	13
	5^{30}	6^{30}	1	34		5^{55}	6^{55}	1	13
	6^{30}	7^{30}	1	133		6^{55}	7^{55}	1	13
	7^{30}	8^{30}	1	43		7^{55}	8^{55}	1	10
	8^{30}	9^{30}	1	16		8^{55}	9^{55}	1	14
	9^{30}	10^{30}	1	20		9^{55}	10^{55}	1	47
	10^{30}	11^{30}	1	33		10^{55}	11^{55}	1	38
	11^{30}	12^{30} V.	1	19		11^{55}	12^{55} V.	1	38
31. VII.	12^{30} V.	1^{30}	1	21	1. VIII.	12^{55} V.	1^{55}	1	42
	1^{30}	2^{30}	1	17		1^{55}	2^{55}	1	38
	2^{30}	3^{30}	1	17		2^{55}	3^{55}	1	34
	3^{30}	4^{30}	1	15		3^{55}	4^{55}	1	18
	4^{30}	5^{30}	1	13		4^{55}	5^{55}	1	13
	5^{30}	6^{30}	1	13		5^{55}	6^{55}	1	13
	6^{30}	7^{30}	1	9		6^{55}	7^{55}	1	13
	7^{30}	8^{30}	1	8		7^{55}	8^{55}	1	7
	8^{30}	12^{50} N.	4^{20}	36		8^{55}	12^{55} N.	4	15
	12^{50} N.	4^{55}	4^{05}	60		12^{55} N.	4^{55}	4	17

Atmungsversuch mit Eiche 1.

Datum	Zeit von	Zeit bis	Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg	Datum	Zeit von	Zeit bis	Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg
16. VIII.	5^{30} N.	6^{30} N.	1	44	17. VIII.	8^{30}	9^{30}	1	25
	6^{30}	7^{30}	1	32		9^{30}	10^{30}	1	26
	7^{30}	8^{30}	1	32		10^{30}	11^{30}	1	25
	8^{30}	9^{30}	1	32		11^{30}	12^{30} N.	1	25
	9^{30}	10^{30}	1	28		12^{30}	1^{30}	1	22
	10^{30}	11^{30}	1	28		1^{30}	2^{30}	1	38
	11^{30}	12^{30} V.	1	28		2^{30}	3^{30}	1	34
17. VIII.	12^{30} V.	1^{30}	1	24		3^{30}	4^{30}	1	31
	1^{30}	2^{30}	1	20		4^{30}	5^{30}	1	29
	2^{30}	3^{30}	1	17		5^{30}	6^{30}	1	34
	3^{30}	4^{30}	1	22		6^{30}	7^{30}	1	26
	4^{30}	5^{30}	1	13		7^{30}	8^{30}	1	24
	5^{30}	6^{30}	1	13		8^{30}	9^{30}	1	26
	6^{30}	7^{30}	1	17		9^{30}	10^{30}	1	28
	7^{30}	8^{30}	1	25		10^{30}	11^{30}	1	26

Datum	Zeit		Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg	Datum	Zeit		Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg
	von	bis				von	bis		
	11^{30}	12^{30} V.	1	22		3^{30}	4^{30}	1	verunglückt
18. VIII.	12^{30} V.	1^{30}	1	20		4^{30}	5^{30}	1	26
	1^{30}	2^{30}	1	57		5^{30}	6^{30}	1	22
	2^{30}	3^{30}	1	69		6^{30}	7^{30}	1	22
	3^{30}	4^{30}	1	22		7^{30}	8^{30}	1	18
	4^{30}	5^{30}	1	20		8^{30}	9^{30}	1	30
	5^{30}	6^{30}	1	18		9^{30}	10^{30}	1	22
	6^{30}	7^{30}	1	20		10^{30}	11^{30}	1	22
	7^{30}	8^{30}	1	21		11^{30}	12^{30} V.	1	22
	8^{30}	9^{30}	1	22	19. VIII.	12^{30} V.	1^{30}	1	18
	9^{30}	10^{30}	1	29		1^{30}	2^{30}	1	18
	10^{30}	11^{30}	1	12		2^{30}	3^{30}	1	18
	11^{30}	12^{30} N.	1	10		3^{30}	4^{30}	1	14
	12^{30} N.	1^{30}	1	10		4^{30}	5^{30}	1	27
	1^{30}	2^{30}	1	22		5^{30}	9^{50} N.	4^{20}	73
	2^{30}	3^{30}	1	30	20. VIII.	9^{50} N.	6^{50} V.	9	92

Atmungsversuch mit Eiche 2.

Datum	Zeit		Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg	Datum	Zeit		Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg
	von	bis				von	bis		
5. IX.	7 N.	8 N.	1	19	6. IX.	8	9	1	22
	8	9	1	14		9	10	1	39
	9	10	1	14		10	11	1	30
	10	11	1	22		11	12	1	21
	11	12	1	22	7. IX.	12	1 V.	1	37
	12	1 V.	1	17		1 V.	2	1	37
6. IX.	1 V.	2	1	17		2	3	1	28
	2	3	1	18		3	4	1	33
	3	4	1	13		4	5	1	29
	4	5	1	20		5	6	1	18
	5	6	1	14		6	7	1	22
	6	7	1	9		7	8	1	13
	7	8	1	22		8	9	1	17
	8	9	1	10		9	10	1	13
	9	10	1	22		10	11	1	14
	10	11	1	17		11	12	1	13
	11	12	1	13		12	1 N.	1	18
	12	1 N.	1	22		1 N.	2	1	22
	1 N.	2	1	26		2	3	1	18
	2	3	1	21		3	4	1	18
	3	4	1	18		4	5	1	18
	4	5	1	26		5	6	1	18
	5	6	1	34		6	7	1	17
	6	7	1	21		7 N.			
	7	8	1	18	8. IX.		8 V.	13	95

Atmungsversuch mit Acer Pseudo-Platanus.

Datum	Zeit von	Zeit bis	Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg	Datum	Zeit von	Zeit bis	Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg
16. IX.	7	8 N.	1	20		8	9	1	20
	8	9	1	22		9	10	1	18
	9	10	1	26		10	11	1	19
	10	11	1	9		11	12	1	18
	11	12	1	5		12	1 V.	1	23
	12	1 V.	1	7	18. IX.	1 N.	2	1	17
17. IX.	1 V.	2	1	9		2	3	1	22
	2	3	1	14		3	4	1	22
	3	4	1	14		4	5	1	18
	4	5	1	14		5	6	1	26
	5	6	1	14		6	7	1	20
	6	7	1	14		7	8	1	18
	7	8	1	14		8	9	1	20
	8	9	1	28		9	10	1	20
	9	10	1	22		10	11	1	35
	10	11	1	28		11	12	1	22
	11	12	1	26		12	1 N.	1	22
	12	1 N.	1	11		1	2	1	22
	1	2	1	10		2	3	1	18
	2	3	1	6		3	4	1	30
	3	4	1	5		5	6	1	36
	4	5	1	9		6	7	1	31
	5	6	1	20		7 N.			
	6	7	1	18	19. IX.		7 V.	12	306
	7	8	1	18					

Atmungsversuch mit Fichte.

Datum	Zeit von	Zeit bis	Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg	Datum	Zeit von	Zeit bis	Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg
10. X.	6	7 N.	1	18		1	2	1	21
	7	8	1	18		2	3	1	21
	8	9	1	18		3	4	1	17
	9	10	1	22		4	5	1	21
	10	11	1	22		5	6	1	17
	11	12	1	26		6	7	1	19
11. X.	12	7 V.	7	198		7	8	1	17
	7	8	1	34		8	9	1	17
	8	9	1	30		9	10	1	13
	9	10	1	26		10	11	1	9
	10	11	1	25		11	12 N.	1	9
	11	12	1	25	12. X.	12	6 V.	6	82
	12	1	1	21		6	7	1	13

Datum	Zeit von	Zeit bis	Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg	Datum	Zeit von	Zeit bis	Zahl d. Stdn.	CO_2 in mg
	7	8	1	13		6	7	1	21
	8	9	1	17		7	8	1	21
	9	10	1	17		8	9	1	17
	10	11	1	17		9	10	1	21
	11	12	1	17		10	11	1	21
	12	1 N.	1	17		11	12	1	21
	1	2	1	17	13. X.	12	6 V.	6	107
	2	3	1	17		6	12	6	149
	3	4	1	17		12	9 N.	9	197
	4	5	1	15	14. X.	9	8 V.	11	122
	5	6	1	21					

B. Atmung unter Einwirkung schwefliger Säure.

Versuch 1. Zweig von Prunus Laurocerasus.

Datum	Zeit von	Zeit bis		mg CO_2 f. d. Stunde	Temp. C°
11. XII.	11^{30} V.	12^{30} N.	normal	60	17
	12^{30}	1^{30}	„	24	17
	1^{30}	3^{30}	„	(60) 30	17
	3^{30}	4^{30}	„	32	17
	4^{30}	5^{30}	„	24	17
	5^{30}	6^{30}	„	20	17
12. XII.	11^{30} V.	12^{30} N.	„	48	22
	12^{30}	1^{30}	„	32	21,5
	1^{30}	2^{30}		38	20
	2^{30}	3^{30}	1 : 9000 SO_2	38	20
	3^{30}	4^{25}		(42) 46	20
13. XII.	10 V.	11	normal	20	17,5
	11	12	„	24	19
	12	1 N.	1 : 43000 SO_2	21	20
	1	2	1 : 56000 „	21	—
	2	3	1 : 40000 „	24	21
	3	4	1 : 40000 „	25	21
	4	5	normal	24	20
	5	6	„	24	19
	6	7	„	20	18,5
	7 N.				
14. XII.		10 V.	„	(208) 14	15,5
	10	11	„	16	17
	11	12	„	16	19,5

Datum	Zeit von	Zeit bis		mg CO_2 f. d. Stunde	Temp. C°
	12	1	1 : 27000 SO_2	22	19,5
	1	2		30	18,5
	2	3		22	17,5
	3	4		18	17
	4	5	normal	20	18
	5	6	„	20	18
	6	7	„	24	18

7 N. bis 15. XII. 9^{45} bleibt die Glocke des Apparates abgeschlossen. Dann wird bis 10^{50} abgesogen, um die Kohlensäure zu absorbieren. Liefert zusammen 398 mg CO_2, also in der Stunde 10 mg CO_2.

Versuch 2. Topfexemplar von Buche.

Datum	Zeit von	Zeit bis		mg CO_2 f. d. Stunde
16. VII.	9^{45} V.	10^{45}	normal	24
	10^{45}	11^{45}	„	19
	11^{45}	12^{45} N.	1 : 290000 SO_2	14
	12^{45}	1^{45}	normal	18
	1^{45}	2^{45}	„	13
	2^{45}	3^{45}	„	11
	3^{45}	4^{45}	„	10
	4^{45}	5^{45}	1 : 125000 SO_2	10
	5^{45}	6^{45}	normal	7

Versuch 3. Topfexemplar der Buche.

18. Juli normal 23 C°. 21. Juli Säureatmung 19 C°.

Zeit von	Zeit bis	mg CO_2 f. d. Stde.	Zeit von	Zeit bis		mg CO_2 f. d. Stde.
9^{15} V.	10^{15}	24	9^{45} V.	10^{15}	1 : 295000 SO_2	(15) 30
10^{15}	11^{15}	19	10^{15}	11^{15}	1 : 188000 „	18
11^{15}	12^{15} N.	36	11^{15}	12^{15} N.		22
12^{15}	1^{15}	24	12^{15}	1^{15}	1 : 181000 „	10
1^{15}	4^{15}	(36) 12	1^{15}	4^{15}		(28) 9
4^{15}	5^{15}	13	4^{15}	5^{15}	1 : 136000 „	5
5^{15}	6^{15}	16	5^{15}	6^{15}		9
6^{15}	7^{15}	16	6^{15}	7^{15}		2

Versuch 4.

Topfexemplar der Fichte 1.

10. November.

Zeit von	Zeit bis		mg CO_2
9^{30} V.	10^{30}	normal	9
10^{30}	11^{30}	„	9
11^{30}	12^{30} N.	„	9
12^{30}	1^{30}	1 : 28000 SO_2	17
1^{30}	2^{30}		13
2^{30}	3^{30}		9
3^{30}	4^{30}		13
4^{30}	5^{30}		9

Versuch 5.

Topfexemplar der Fichte 2.

17. November.

Zeit von	Zeit bis		mg CO_2
12	1 N.	normal	54
1	2	„	46
2	3	„	46
3	4	1 : 72500 SO_2	46
4	5		46
5	6		62

Versuch 6. Topfexemplar der Fichte 3.

Datum	Zeit von	Zeit bis		mg CO_2 f. d. Stunde
12. XI.	11	12 M.	normal	13
	12	1	„	9
	1	2	„	9
	2	3	„	9
	3	4	1 : 46000 SO_2	13
	4	5		13
	5	6		9
	6	7		9
13. XI.	9^{15} V.	10^{15}	normal	9
	10^{15}	11^{15}	„	9
	11^{15}	12^{15} N.	„	9
	12^{15}	1^{15}		17
	1^{15}	2^{15}		17
	2^{15}	3^{15}	1 : 54000	13
	3^{15}	4^{15}	SO_2	9
	4^{15}	5^{15}		11
	5^{15}	6^{15}		11
	6^{15}			
14. XI.		10 V.	normal	(239)15
	10^{15}	11^{45}	„	9
	11^{45}	12^{45} N.	„	13

Datum	Zeit von	Zeit bis		mg CO_2 f. d. Stunde
14. XI.	12^{45}	1^{45}	1 : 23000 SO_2	17
	1^{45}	2^{45}		15
	2^{45}	3^{45}		15
	3^{45}	4^{45}		13
	4^{45}	5^{45}	1 : 35000 SO_2	63
	5^{45}	6^{45}		13
	6^{45}	7^{45}		13
	7^{45}			
15. XI.		9^{45} V.	normal	(148)11
	9^{45}	10^{45}		17
	10^{45}	11^{45}		13
	11^{45}	12^{45} N.		13
	12^{45}	1^{45}		25
	1^{45}	2^{45}	1 : 50500	21
	2^{45}	3^{45}		17
	3^{45}	4^{45}		17
	4^{45}	5^{45}		13
	5^{45}	6^{45}		13
	6^{45}			
16. XI.		8^{45} V.	normal	(165)12

Tabelle 2.

Assimilationsversuche.

Datum	Atmung	Assimilation	Absaugung	Atmung	CO_2-Gehalt der Luft Vol.-%	Säuregehalt	Zugegebene Kohlensäure mg	Wiedergefundene Kohlensäure mg	Durchschn. stündl. Atmung mg	Assimilierte Kohlensäure mg	Stündl. assimil. Kohlensäure mg
				Fichte. Versuch 1.							
30. XI.	10^{30}—11^{30}	11^{30}—5^{30}	5^{30}—6	6—7	0,13	säurefrei	1082	978	40,8	369	61
1. XII.	10—11	11—5	5—6	6—7	0,13	1 : 269000	1078	874	22,8	364	61
3. XII.	11^{30}—12^{30}	12^{30}—6^{30}	6^{30}—7^{30}	7^{30}—8^{30}	0,21	säurefrei	1234	1105	34,8	373	62
4. XII.	10—11	11—5	5—6	6—7	0,12	1 : 60000	1176	1221	24,8	129	21
5. XII.	10—11	11—5	5—6	6—7	0,15	säurefrei	1342	1358	20,8	130	22
6. XII.	10—11	11—5	5—6	6—7	0,11	„	1092	1123	40,8	255	42
7. XII.	10—11	11—5	5—6	6—7	0,12	„	1116	1082	38,8	306	51
8. XII.	11—12	12—5	5—6	6—7	0,18	„	1006	930	34,8	285	57
				Versuch 2.							
22. XI.	2^{15}— 3^{15}	3^{15}—7^{15}	7^{15}—7^{45}	7^{45}—8^{45}	0,2	säurefrei	688	682	48,8	226	56
26. XI.	9—10	10—4	4—5	5—6	0,14	1 : 150000	1050	932	27,2	308	51
27. XI.	9^{15}—10^{15}	10^{15}—4	4—5	5—6	0,11	1 : 140000	998	874	24,8	291	51
28. XI.	9—10	10—4	4—4^{45}	4^{45}—5^{45}	0,11	1 : 80000	924	894	32,2	247	41
7. II.	11^{30}—12^{50}	12^{50}—5^{50}	5^{50}—6^{50}	6^{50}—8^{20}	0,11	säurefrei	830	689	28,6	313	63
				Versuch 3.							
11. XII.	10^{15}—11^{15}	11^{15}—5^{15}	5^{15}—6^{15}	6^{15}—7^{15}	0,26	säurefrei	2287	2248	44,8	353	59
14. XII.	11—12	12—6	6—7	7—8	0,2	1 : 245000	2411	2251	26,8	348	58
15. XII.	9—10	10—4	4—5	5—6	0,26	1 : 250000	2399	2436	38,8	235	39
16. XII.	Während 8 Stunden Säure 1 : 250000 durchgeleitet.										
17. XII.	10—11	11—3	3—4		0,25	1 : 159000	1250	1417	46,8	207	34
		4—6	6—7	7—8		1 : 163000					
18. XII.	9—10	10^{30}—4^{30}	4^{30}—5^{30}	5^{30}—6^{30}	0,11	1 : 290000	1274	1306	30,8	184	31
19. XII.	9—10	10—12	12—1		0,2	1 : 171000	1213	1379	40,8	160	27
		1—5	5—6	6—7							
20. XII.	10^{30}—11^{30}	11^{30}—5^{30}	5^{30}—6^{30}	6^{30}—7^{30}	0,15	säurefrei	1202	1355	36,8	105	17
21. XII.	9—10	10—4	4—5	5—6	0,12	„	1237	1236	34,8	245	41
22. XII.	9—10	10—4	4—5	5—6	0,11	„	1126	1142	40,8	270	45
				Versuch 4.							
4. VIII.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,1	säurefrei	631	991	94	204	51
5. VIII.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,05	1 : 337700	728	1252	88	92	18
7. VIII.	9—10	10—4	4—6	6—7	0,07	säurefrei	903	1346	88	261	44
				Taxus baccata. Versuch 5.							
19. XII.	12—1	1—3^{30}	3^{30}—4^{15}		0,1	säurefrei	481	461	28	111	44
		4^{15}—6^{15}	6^{15}—7	7—8	0,13	1 : 13000	474	497	28	54	27
20. XII.	9—10	10—12	12—1		0,15	säurefrei	591	583	22	75	37
		1—3	3—4		0,13	1 : 15000	556	606	22	16	8
		4—6	6—7	7—8	0,14	säurefrei	468	497	22	37	18,5

Datum	Atmung	Assimilation	Absaugung	Atmung	CO_2-Gehalt der Luft Vol.-%	Säuregehalt	Zugegebene Kohlensäure mg	Wiedergefundene Kohlensäure mg	Durchschn. stündl. Atmung mg	Assimilierte Kohlensäure mg	Stündl. assimil. Kohlensäure mg
				Fagus silvatica. Versuch 6.							
13. VI.	11—12^{10}	12^{10}—4^{10}	4^{10}—6^{10}	6^{10}—7^{10}	0,07	säurefrei	560	638	53	240	60
14. VI.	9—10	10—4	4—6	6—7	0,07	1 : 191000	860	787	36	361	60
16. VI.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,1	säurefrei	540	430	26	266	66
17. VI.	9—10	10—4	4—6	6—7	0,1	1 : 64500	830	660	26	378	63
18. VI.	9—10	10—4	4—6	6—7	0,16	säurefrei	850	644	28	430	72[1])
				Versuch 7.							
21. VI.	9—10	10—4	4—6	6—7	0,07	säurefrei	894	818	32	332	55
23. VI.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,05	1 : 144000	810	901	24	77	15
24. VI.	9—10	10—4	4—6	6—7	0,07	säurefrei	959	996	26	171	29[2])
				Versuch 8.							
7. VII.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,1	säurefrei	865	863	64	450	90
8. VII.	9—10	10—4	4—6	6—7	0,08	1 : 283000	1093	1207	53	310	52
9. VII.	9—10	10—4	4—6	6—7	0,08	säurefrei	1127	1154	42	309	52
11. VII.	10^{30}—12	12—4	4—6	6—7	0,08	„	682	567	24	259	65
12. VII.	9—10	10—4	4—6	6—7	0,08	„	994	837	28	381	64
17. VII.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,12	„	697	602	34	299	75
				Versuch 9.							
14. VII.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,1	säurefrei	835	749	26	242	61
15. VII.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,08	1 : 176000	1029	1208	48	157	31
16. VII.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,08	säurefrei	909	823	34,4	327	65[3])
19. VII.	10^{30}—11^{30}	10^{30}—3^{30}	3^{30}—5^{30}	5^{30}—6^{30}	0,06	„	586	527	18	167	42
				Versuch 10.							
22. VII.	10—11	11—4	4—6^{15}	6^{15}—7^{15}	0,064	säurefrei	728	606	20	267	53
23. VII.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,07	1 : 317000	743	609	18	260	52
24. VII.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,07	säurefrei	715	596	18	245	49[4])
30. VII.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,09	„	792	668	22	278	56
31. VII.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,09	1 : 87400	596	580	18	124	31
1. VIII.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,08	säurefrei	766	818	24	116	23[5])

[1]) Am 20. VI. sind sichtbare Beschädigungen als stark braun gefärbte Flecke vorhanden, nachdem die Pflanze den 19. VI. über ohne Glocke im Laboratorium gestanden hatte.

[2]) Am 24. VI. abends waren Beschädigungen an den Blättern in großer Zahl aufgetreten.

[3]) 17. VII. morgens. Es sind viele Beschädigungen an den Blättern aufgetreten.

[4]) Am 28. VII. morgens sind Beschädigungen an einigen Blättern zu beobachten.

[5]) 2. VIII. nachmittags. Es treten Beschädigungen an ziemlich viel Blättern auf.

Datum	Atmung	Assimilation	Absaugung	Atmung	CO_2-Gehalt der Luft Vol.-%	Säuregehalt	Zugegebene Kohlensäure mg	Wiedergefundene Kohlensäure mg	Durchschn. stündl. Atmung mg	Assimilierte Kohlensäure mg	Stündl. assimil. Kohlensäure mg
				Versuch 11.							
26. VII.	10—11	11—4	4—6	$6—7^{15}$	0,08	säurefrei	767	686	32,5	309	62
28. VII.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,08	1 : 176000	791	725	30	276	55
29. VII.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,08	säurefrei	739	662	30	287	57[1])
				Versuch 12.							
30. VIII.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,06	säurefrei	599	638	48	249	62
1. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,05	1 : 227000	555	598	34	161	40
2. IX.	11—12	12—4	$4—6^{15}$	$6^{15}—7^{15}$	0,07	säurefrei	647	682	40	215	54
5. IX.	11—12	12—4	$4—6^{30}$	$6^{30}—7^{30}$	0,065	„	647	603	28	226	57
				Versuch 13.							
6. IX.	$11^{30}—12^{30}$	$12^{30}—4^{30}$	$4^{30}—6$	6—7	0,09	säurefrei	628	470	40	378	95
8. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,07	1 : 292000	594	530	36	277	69
9. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,06	säurefrei	485	389	58	444	88,5
10. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,05	„	550	474	50	376	94
				Versuch 14.							
12. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,065	säurefrei	561	487	42	326	81
13. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,07	1 : 125000	530	498	38	260	65
15. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,05	säurefrei	515	573	52	252	63
16. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,06	„	485	446	30	219	55[2])
				Eiche. Versuch 15.							
21. VIII.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,07	säurefrei	379	334	22	177	44
22. VIII.	10—12	12—4	$4—6^{10}$	$6^{10}—7^{10}$	0,075	1 : 52000	411	412	24	147	37
23. VIII.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,08	säurefrei	415	418	32	189	47
				Versuch 16.							
23. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,07	säurefrei	612	992	116	316	79
24. IX.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,06	1 : 597000	644	858	88	402	80
25. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,07	säurefrei	511	582	68	337	84
26. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,06	1 : 39750	579	891	74	132	33
27. IX.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,1	säurefrei	643	740	82	395	99
				Betula alba. Versuch 17.							
2. VI.	$3^{30}—4^{40}$	$5^{15}—8^{15}$	$8^{15}—10$		0,07	säurefrei	528	532	41	215	72
3. VI.	9—10	10—3^{45}	$3^{45}—6$	6—7	0,08	1 : 114000	1068	1140	49,6	325	56
4. VI.	$9—10^{10}$	$10^{10}—4^{10}$	$4^{10}—6^{10}$	$6^{10}—7^{10}$	0,08	säurefrei	1069	1036	48	417	70[3])

[1]) Abends: 3 Blätter im Anfangsstadium der Beschädigung.
[2]) Es werden starke Beschädigungen an den Blättern beobachtet.
[3]) An einigen Blättern Beschädigungen.

Datum	Atmung	Assimilation	Absaugen	Atmung	CO_2-Gehalt der Luft Vol.-%	Säuregehalt	Zugegebene Kohlensäure mg	Wiedergefundene Kohlensäure mg	Durchschn. stündl. Atmung mg	Assimilierte Kohlensäure mg	Stündl. assimil. Kohlensäure mg
				Weide. Versuch 18.							
6. VI.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,07	säurefrei	838	815	28	219	44
7. VI.	8—9	9—3			0,06	1 : 127000	679	626	16	149	25
		3—6	6—8	8—9	0,08		445	489	16	36	12[1])
				Versuch 19.							
10. VI.	9—10	10—4	4—6	6—7	0,09	säurefrei	940	816	10	204	34
11. VI.	9^{10}—10^{10}	10^{10}—4^{10}	4^{10}—6^{10}	6^{10}—7^{10}	0,1	1 : 83000	971	905	8	130	22
12. VI.	9^{05}—10^{05}	10^{05}—4^{05}	4^{05}—6^{05}	6^{05}—7^{05}	0,06	säurefrei	866	841	18	169	28[2])
				Versuch 20.							
25. VI.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,075	säurefrei	675	662	18	121	30
26. VI.	10—11	11—4	4—6	6—7	0,08	„	837	761	12	160	32
27. VI.	9^{30}—10^{30}	10^{30}—3^{30}	3^{30}—5^{30}	5^{30}—6^{40}	0,08	1 : 311800	817	803	15,6	123	25
				Weinstock. Versuch 21.							
9. V.	11^{45}—12^{45}	12^{45}—3^{45}	3^{45}—5^{45}	5^{45}—6^{45}	0,08	säurefrei	346	282	18	154	51
10. V.	9—10	10—1	1—3^{30}		0,13	1 : 33400	372	300	14	149	50
		3^{30}—5^{30}	5^{30}—6^{40}	6^{40}—7^{40}	0,09	säurefrei	209	215	14	38	19[3])
				Versuch 22.							
14. V.	9—10	10—1	1—3^{30}		0,09	säurefrei	390	403	32,4	164	55
		3^{30}—5^{30}	5^{30}—7	7—8	0,09	1 : 89000	265	283	32,4	95	48
15. V.	9—10	10—12	12—1		0,09	1 : 112000	789	789	25,2	231	38
		1^{15}—5^{25}	5^{25}—7^{10}	7^{10}—8^{10}	0,09	1 : 111000					
16. V.	9—10	10^{15}—11^{15}	11^{15}—12^{30}		0,09	säurefrei	789	680	26	337	61
		12^{30}—5	5—6^{45}	6^{45}—7^{45}	0,09	„					
				Versuch 23.							
2. VII.	9^{05}—10^{05}	10^{05}—4^{05}	4^{05}—6^{05}	6^{05}—7^{05}	0,08	säurefrei	1035	966	52	479	80
3. VII.	9^{15}—10^{15}	10^{15}—4^{15}	4^{15}—6^{15}	6^{15}—7^{15}	0,08	1 : 92700	1035	874	42	497	83
4. VII.	9^{30}—10^{30}	10^{30}—4	4—6	6—7	0,07	säurefrei	928	872	48	416	76
5. VII.	9^{05}—10^{05}	10^{05}—4^{05}	4^{05}—6^{05}	6^{05}—7^{05}	0,09	„	943	902	52	457	76
				Aralia japonica. Versuch 24.							
22. XI.	11—12	12—1^{30}	1^{30}—3^{30}		0,3	säurefrei	693	626	20	137	91
		3^{30}—5^{10}	5^{10}—6	6—7	0,26	1 : 26000	813	771	20	92	55
24. XI.	9^{05}—10^{05}	10^{05}—12^{05}	12^{05}—1^{07}	1^{07}—4^{11}	0,26	säurefrei	1078	988	23,6	161	81
		4^{11}—6^{11}	6^{11}—7	7—8	0,23	1 : 30000	949	892	19,8	103	52

[1]) Am 8. VI. verblieb die Pflanze unter der Glocke, am 9. VI. morgens waren starke Beschädigungen bemerkbar.

[2]) Am 12. VI. morgens sind Beschädigungen vorhanden.

[3]) Pflanze stark beschädigt.

Datum	Atmung	Assimilation	Absaugen	Atmung	CO_2-Gehalt der Luft	Säuregehalt	Zugegebene Kohlensäure	Wiedergefundene Kohlensäure	Durchschn. stündl. Atmung	Assimilierte Kohlensäure	Stündl. assimil. Kohlensäure
					Vol.-%		mg	mg	mg	mg	mg
Abutilon palmatum. Versuch 25.											
1. IV.	12—1	1—4	4—7	7—8	0,84	säurefrei	1214	1124	32	282	94
2. IV.	9^{15}—10^{15}	10^{15}—1^{15}	1^{15}—4^{15}	4^{15}—5^{15}	0,74	1 : 27000	1316	1300	16,4	114	38
3. IV.	9^{20}—10^{20}	10^{20}—1^{20}	1^{20}—4^{20}	4^{20}—5^{50}	0,75	säurefrei	1495	1422	19,3	188	61
4. IV.	9^{14}—10^{15}	10^{15}—1^{10}	1^{10}—4^{10}	4^{10}—5^{10}	0,69	„	1766	1717	26	203	69
Genista Andreana. Versuch 26.											
2. V.	9—10	10—1	1—4	4—5	0,1	säurefrei	375	405	32	162	54
3. V.	9^{15}—10^{15}	10^{15}—1^{15}	1^{15}—3^{15}		0,1	1 : 49600	385	496	30	39	13
		3^{15}—5^{15}	5^{15}—7	7—8	0,165	säurefrei	279	306	30	84	42
Ficus elastica. Versuch 27.											
6. V.	9—10	10—1	1—3^{30}		0,015	säurefrei	57	168	28	43	14
		3^{30}—6	6—7	7—8	0,07	„	254	218	28	134	54
7. V.	9—10	10—1^{10}	1^{10}—3^{40}		0,06	1 : 50000	260	450	24		0
		3^{40}—6	6—7	7—8	0,12	säurefrei	409	329	24	160	69
Cereus grandiflorus. Versuch 28.											
15. IV.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,28	säurefrei	1803	1735	14	152	38
16. IV.	12—1	1—4	4—6	6—7	0,25	1 : 42000	1122	1173	20	49	16
17. IV.	10^{30}—11^{30}	11^{30}—1	1—3^{30}		0,29	säurefrei	1190	1245	20	75	25
		3^{30}—5	5—6	6—7							
Allium Cepa. Versuch 29.											
15. III.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,3	säurefrei	1964	1944	18	128	32
17. III.	10^{30}—11^{30}	11^{30}—3^{30}	3^{30}—5^{30}	5^{30}—6^{30}	0,3	1 : 67000	2015	2049	26	122	31
18. III.	11—12	12—4	4—6	6—7	0,5	säurefrei	2144	2123	14	105	26

Tabelle 3.

Versuche über die Wasseraufnahme und Wasserabgabe der Pflanzen unter Einwirkung der schwefligen Säure.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft l	Stündlich durchgesogene Luftmenge l	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser Skalenteile
			Taxus baccata. Versuch 1[1]).							
18. XI.	5^{30}—6^{30}	Licht	ohne Säure	21	1	—	—	—	15	15
	6^{30}—7^{30}	„	„ „	21—22	1	—	—	97	16	16
19. XI.	7^{30} N. —9 V.	dunkel	„ „	22—15,5	13½	1500	—	97—44	295	21,9
	9—11 V.	Licht	mit „	15,5—23	2	211	105,5	44—65	41	20,5
	11—12	„	„ „	23—24,5	1	103	103	65—68	25	25
	12—1	„	„ „	24,5—26	1	86	86	68—61	28	28
	1—4	„	„ „	26—27	3	290	97	61—70	88	29,3
	4—5	„	„ „	27—26,5	1	90	90	70	30	30
	5—7	„	„ „	26,5	2	194	97	70—67	58	29
	7—7^{18}	„	„ „	26,5—27	3/10	—	—	67	8	27
20. XI.	7^{18} N. —9^{30} V.	dunkel	ohne „	27—17	14⅕	1555	81	67—47	375	26,4
	9^{30}—10 V.	Licht	„ „	17—21	½	—	—	47—49	13	26
	10—11	„	„ „	21—24,5	1	99	99	49—59	25	25
	11—12	„	„ „	24,5—25,5	1	102	102	59—62	27	27
	12—6	„	„ „	25,5—18,5	6	611	102	62—50	101	16,5
	6—6^{25} N.	„	„ „	18,5—22	5/12	—	—	50—51	11	26,4
21. XI.	6^{25}—7^{15} V.	dunkel	„ „	22—17	12⅚	—	—	51—52	320	25
	7^{15}—10^{15}	Licht	„ „	17	3	—	—	52—50	71	23,7
	10^{15}—11	„	„ „	17—23	¾	58	77	50—56	17	21,25
	11—12	„	„ „	23—26,5	1	96	96	56—63	24	24
	12—1	„	„ „	26,5—28	1	106	106	63—64	25	25
	1—1^{15}	„	„ „	28	¼	28	112	64—65	9	36
	1^{15}—4^{15}	dunkel	„ „	28—30	3	314	105	65—72	91	30,3
	4^{15}—6^{15}	„	„ „	30—29	2	198	99	72—69	64	32
22. XI.	6^{15}—9^{37}	„	„ „	29—18	$15^{11}/_{30}$	Pumpe abgestellt		100	337	22
			Versuch 2[2]).							
19. XII.	12—1	dunkel	ohne Säure	16—15	1	120	120	88—52	15	15
	1—2	Licht	„ „	15—18	1	80	80	52—63	18	18
	2—3	„	„ „	18—20,5	1	115	115	63—52	43	43
	3—3^{30}	„	„ „	20,5—20	½	48	96	52—55	37	37
	3^{30}—4	dunkel	„ „	20,5—20	½	48	96	52—55		37
	4—4^{15}	„	„ „	20—19,5	¼	—	—	55—63	32	32
	4^{15}—5	Licht	mit Säure 1 : 13 000	20—19,5	¾	—	—	55—63		32

[1]) Künstliche Beleuchtung ohne Zufuhr von Kohlensäure.

[2]) Künstliche Beleuchtung, mit Zufuhr von Kohlensäure zur Zeit der Assimilation 0,1—0,15 Vol.-%.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser
	5—6	Licht	mit Säure 1 : 13000	19,5	1	94	94	63—80	51	51
	6—6^{15}	„	„ „	19,5—20	¼	—	—	80—82	14	56
	6^{15}—7	dunkel	ohne Säure	20—19	¾	—	—	82—78	19	25
	7—8	„	„ „	19—17	—	—	—	78–77,5	46	46
20. XII.	8 N. —9 V.	„	„ „	17—16	13	1107	85	77,5—82	üb. 300	üb. 23
	9—10	„	„ „	16—17	1	117	117	82—75	52	52
	10—11	Licht	„ „	17—21	1	94	94	75—89	62	62
	11—12	„	„ „	21—22	1	100	100	89—85	72	72
	12—1	dunkel	„ „	22—21	1	118	118	85—70	72	72
	1—2	Licht	mit Säure 1 : 15000	21	1	100	100	70—75	58	58
	2—3	„	„ „	21	1	113	113	75—74	61,5	61,5
	3—4	dunkel	ohne Säure	21—19,5	1	—	—	74—76	53,5	53,5
	4—5	Licht	„ „	19,5—19	1	—	—	76–73	48	48
	5—6	„	„ „	19—19,5	1	97	97	73–72	51	51
	6—7	dunkel	„ „	19,5—18	1	132	132	72—63	53	53
	7—8	„	„ „	18	1	104	104	63—59	48	48
			Versuch 3.							
23. XII.	10—11 V.	dunkel	ohne Säure	17	1	101	101	47–45	23	23
	11—12	„	„ „	17—18	1	96	96	45—46	21	21
	12—1	„	„ „	18	1	113	113	46—43	20	20
	1—3	„	„ „	18—19,5	2	233	116	43—46	54	27
	3—4	„	„ „	19,5—20	1	95	95	46—47	24	24
	4—5	„	„ „	20	1	83	83	47—48	18	18
	5—6	„	„ „	20	1	96	96	48—45	28	28
	6—7	„	„ „	20	1	126	126	45—43	24	24
24. XII.	11—12	„	mit „	18—17,5	1	119	119	81—53	19	19
	12—1	„	„ „	17,5—18	1	116	116	53—52	12	12
	1—3	„	„ „	18—19	2	222	111	52—56	38	19
	3—4	„	„ „	19	1	102	102	56—58	18	18
	4—5	„	„ „	19—18,5	1	102	102	58—59	18	18
	5—6	„	„ „	18,5—17,5	1	97	97	59—62	18	18
	6—7	„	„ „	17,5	1	105	105	62	17	17
			Versuch 4[1]).							
9. VIII.	10^{15}—11	diffuses Tageslicht im Zimmer	ohne Säure	19,5	¾	167	223	76	21,5	28,5
	11—12		„ „	19,5	1	224	224	76	37,5	37,5
	12—1			19,5	1	211	211	76	37	37
	1—4		Säure	19,5	3	640	213	76	114	38
	4—5		1 : 4300	19,5	1	216	216	76	39	39
	5—6			19,5	1	196	196	76	35	35
	6—7		ohne Säure	20	1	231	231	76	40	40[2])

[1]) Ohne Zugabe von Kohlensäure.

[2]) Keine Beschädigungen an den Blättern. 12. VIII. Beschädigungen aufgetreten.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser
			Hedera Helix. Versuch 5[1]).							
11. III.	11—12	dunkel	ohne Säure	20	1	96	96	100	17	17
	12—1	Licht	„ „	20—22	1	80	80	100	18	18
	1—4	„	„ „	22—24	3	100	33	100	119	40
	4—5	dunkel	„ „	24—22	1	30	30	100	23	23
	5—6	„	„ „	22—21,5	1	29	29	100	26	26
	6—7	„	„ „	21,5—21	1	104	104	100	29	29
12. III.	10^{15}—11^{15}	„	„ „	20	1	98	98	78—76	26	26
	12—2	Licht	mit Säure	20—23,5	2	186	93	81—84	56	28
	2—4	„	1 : 83000	23,5—24	2	184	92	84—76	57	28,5
	4—6	dunkel	ohne Säure	24—22	2	168	84	76—78	57	28,5
	6—7	„	„ „	22—21,5	1	103	103	78—70	27	27
13. III.	9^{45}—10^{45}	„	„ „	20	1	98	98	75	22	22
	10^{45}—11^{45}	Licht	„ „	20—22	1	77	77	75—64	18	18
	11^{45}—12^{45}	bis 1^{20}	„ „	22—23,5	1	92	92	64—62	19	19
	12^{45}—4^{10}	dunkel	„ „	23,5—21	$2^5/_{12}$	300	124	62—70	77	32
	4^{10}—5^{10}	„	„ „	21	1	84	84	70—65	21	21
			Versuch 6[2]).							
5. IX.	11^{30}—12	diff. Licht	ohne Säure	—	$^1/_2$	106	212	67	6	12
	11—1	„ „	„ „	—	1	196	196	67	11	11
	1—4	„ „		—	3	618	206	67	42	14
	4—5	„ „	mit Säure	—	1	191	191	67	11	11
	5—6	„ „	1 : 175000	—	1	208	208	67	12	12
	6—7	„ „		—	1	207	207	67	11	11
6. IX.	7 N. —11 V.	dunkel	ohne Säure	—	16	—	—	—	147	9
	11—12	diff. Licht	„ „	—	1	204	204	98—69	13	13
	12—1	„ „	„ „	—	1	201	201	69	13	13
	1—4	„ „		—	3	625	208	69	46	15
	4—5	„ „	mit Säure	—	1	213	213	69	16,5	16,5
	5—6	„ „	1 : 130000	—	1	218	218	69	15,5	15,5
	6—7	„ „		—	1	220	220	69	14	14
8. IX.	10^{30}—11^{30}	„ „	ohne Säure	—	1	180	180	100—67	8	8
	11^{30}—12	„ „	„ „	—	$^1/_2$	116	232	67	6	12
	12—1	„ „	„ „	—	1	209	209	67	10	10
	1—4	„ „		—	3	669	223	67	32	11
	4—5	„ „	mit Säure	—	1	227	227	67	12	12
	5—6	„ „	1 : 84400	—	1	227	227	67	11	11
	6—7	„ „		—	1	228	228	67	11	11

[1]) Künstliche Beleuchtung ohne Zufuhr von Kohlensäure.

[2]) Diffuses Tageslicht im Laboratorium ohne Zufuhr von Kohlensäure.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft l	Stündlich durchgesogene Luftmenge l	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser
9. IX.	7 N.—9^{15} V.	dunkel	ohne Säure	—	14$^{1}/_{4}$	—	—	—	78	5,5
	9^{15}—10^{15}	diff. Licht	„ „	—	1	191	191	67	3	3
	10^{15}—11^{15}	„ „	„ „	—	1	220	220	67	6	6
	11^{15}—12^{15}	„ „	„ „	—	1	233	233	67	7	7
	12^{15}—12^{45}	„ „	„ „	—	$^{1}/_{2}$	114	228	67	4	8
	12^{45}—4	„ „		—	3$^{1}/_{4}$	728	224	67	27	8,3
	4—5	„ „	mit Säure	—	1	227	227	67	8	8
	5—6	„ „	1 : 34000	—	1	229	229	67	8	8
	6—7	„ „		—	1	217	217	67	9	9
10. IX.	7 N.—10 V.	dunkel	ohne Säure	—	15	—	—	—	72	5 [1])
			Prunus Laurocerasus. Versuch 7 [2]).							
2. XI.	9^{50}—10^{15}	Licht	ohne Säure	14—18	$^{5}/_{12}$	55	132	86—65	10	24
	10^{15}—11^{15}	„	„ „	18—21,5	1	129	129	65—39	22	22
	11^{15}—12	„	„ „	—	$^{3}/_{4}$	—	—	—	—	—
	11^{15}—12^{15}	„	„ „	21,5	1	131	131	39—37	31	31
	12^{15}—2^{15}	dunkel	„ „	21,5—19,5	2	173	86	37—33	54	27
	2^{15}—2^{45}	Licht	„ „	19,5—22	$^{1}/_{2}$	52	104	33—48	15	30
	2^{45}—3	„	mit Säure	22	$^{1}/_{4}$	29	116	48—85	7	28
	3—4	„	1 : 60000	22	1	117	117	85—46	36	36
	4—5	„		22—23	1	131	131	46—53	51	51
	5—6	„	ohne Säure	23	1	120	120	53—60	64	64
	6—7	„	„ „	23	1	135	135	60	71	71
	7—7^{30}	„	„ „	23—24	$^{1}/_{2}$	69	138	60—58	62	62
3. XI.	7^{30} N.—9^{15} V.	dunkel	„ „	17—11,5	13$^{3}/_{4}$	1360	99	58—46	395	28
	9^{15}—10	Licht	„ „	13—17	$^{3}/_{4}$	72	96	46—52	—	—
	10—11	„	„ „	17—19	1	95	95	52—59	—	—
	11—12	„	„ „	19—20	1	97	97	59—64	—	—
4. XI.	8^{38}—10^{15}	„	„ „	16—22	1^{53}	—	—	100—87	34	18
	10^{15}—11^{45}	„	„ „	22—23	1$^{1}/_{2}$	136	91	87—84	61	41
	11^{45}—12^{15}	„	mit Säure	23	$^{1}/_{2}$	45	90	84—77	23	46
	12^{15}—1^{15}	„	1 : 27000	23	1	98	98	77—65	43	43
	1^{15}—3^{45}	„	ohne Säure	23	2$^{1}/_{2}$	237	95	65—62	99	40
	3^{45}—4^{30}	„	mit Säure	23	$^{3}/_{4}$	69	92	62—63	28	35
	4^{30}—5^{45}	„	1 : 27000	23—24	1$^{1}/_{4}$	121	97	63—61	46	37
	5^{45}—6^{45}	„	ohne Säure	24—23,5	1	94	94	61—62	37	37
	7	„	„ „	23,5—23	—	—	—	—	—	— [3])
	6^{45}—7^{45}	„	„ „	23—23,5	1	97	97	62—65	38	38

[1]) Während des ganzen Versuches weder Injektionen noch Beschädigungen aufgetreten.

[2]) Künstliche Beleuchtung ohne Zuleitung von Kohlensäure.

[3]) Mehrere Blätter haben große braune Flecken.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur °C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft l	Stündlich durchgesogene Luftmenge l	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser
5. XI.	7^{45} N. —9 V.	dunkel	ohne Säure	23,5—14	$13^1/_4$	—	—	100	128	9,7
	9—12	„	„ „	14	3	—	—	100	16	5
	12—4	„	„ „	14—21,5	4	—	—	100	51	13
	4—6^{30}	Licht	„ „	21,5—23,5	$2^1/_2$	—	—	—	57	23
			Versuch 8[1]).							
5. XII.	5^{13}—6	Licht	ohne Säure	18—19	$^{47}/_{60}$	59	75	84—45	20	26
	6—6^{30}	„	„ „	19	$^1/_2$	61	122	45—31	16	32
	6^{30}—7^{30}	„	„ „	19	1	123	123	31—25	34	34
6. XII.	7^{30} N.—9 V.	dunkel	„ „	19—16	$13^1/_2$	1888	140	25—22,5	300	22
	9—9^{15}	„	„ „	16	$^1/_4$	29	116	22,5—24	6	24
	9^{15}—10^{15}	„	„ „	16—17	1	70	70	24—32	22	22
	10^{15}—12^{15}	Licht	„ „	17—23	2	133	67	32—45	59	29,5
	12^{15}—1^{15}	dunkel	„ „	23—21	1	101	101	45—39	45	45
	1^{15}—2^{25}	Licht	mit Säure	21	$1^1/_6$	52	45	39—42	37	32
	2^{25}—3^{25}	„	1 : 14000	21—21,5	1	82	82	42—46	33	33
	3^{25}—4^{25}	dunkel	ohne Säure	21,5—20	1	83	83	46—42	35	35
	4^{25}—5^{25}	„	„ „	20—19	1	72	72	42—45	31	31
7. XII.	6^{30} N.—8^{45} V.	„	„ „	19—17	$14^1/_4$	1222	86	90—43	mehr als 300	mindest. 21
	8^{45}—9^{25}	„	„ „	17	$^2/_3$	55	83	43—47	12	18
	9^{25}—10^{25}	„	„ „	17	1	68	68	47	23	23
	10^{25}—12^{35}	Licht	„ „	17—20	$2^1/_6$	163	75	47	71	33
	12^{35}—1^{35}	dunkel	„ „	20—19	1	81	81	47—45	39	39
	1^{35}—1^{49}	Licht	mit Säure	19	$^7/_{39}$	2?	9?	45—58	7,5	32[2])
	1^{49}—3^{49}	„	1 : 6700	19—20	2	155	78	58—52	63,5	32
	3^{49}—4^{49}	dunkel	ohne Säure	20—19	1	48	48	52—48	32	32
	4^{49}—5	„	„ „	19	$^{11}/_{60}$	4	22	48—59	5	27
	5—6	„	„ „	19—18	1	69	69	59—60	33	33[3])
			Versuch 9[4]).							
8. I.	10^{15}—11	duukel	ohne Säure	19—19,5	$^3/_4$	60	80	56	48	64
	11—12	„	„ „	19,5	1	93	93	56	50	50
	12—1	Licht	„ „	19,5	1	61	61	56	51	51
	1—4	„	„ „	19,5—22	3	171	57	56	141	47
	4—5	„	„ „	22—22,5	1	58	58	56	40	40
	5—6	„	„ „	22,5	1	57	57	56	54	54
	6—7	dunkel	„ „	22,5—21,5	1	66	66	56	46	46
	7—8	„	„ „	21,5—21	1	120	120	56	51	51

[1]) Künstliche Beleuchtung. Zuleitung von Kohlensäure.

[2]) Gegen Ende der Einwirkung der Säure treten an einzelnen Blättern kleine schwach braune Flecken auf.

[3]) Nach Beendigung der Versuche treten zahlreiche Flecken an mehreren Blättern auf.

[4]) Künstliche Beleuchtung. Zufuhr von Kohlensäure 0,2—0,47 %.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur °C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser
9. I.	8 N. —9^{45} V.	dunkel	ohne Säure	—	13$^{3}/_{4}$	—	—	—	322	23
10. I.	10^{15}—11	„	„ „	−19,5	$^{3}/_{4}$	—	—	−80	—	—
	11—12	„	„ „	19,5—20	1	84	84	80—71	54	54
	12—1	Licht	„ „	20—21	1	49	49	71—78	37	37
	1—2	„	mit Säure 1 : 118000	21—22,5	1	48	48	78—85	38	38
	2—4	„		22,5—23	2	94	47	85—89	81	40,5
	4—5	„		23	1	45	45	89—90	41	41
	5—6	dunkel	ohne Säure	23—21	1	70	70	90—83	47	47
	6—7	„	„ „	21—21,5	1	78	78	83—76	53	53
	7—8	„	„ „	21,5—22	1	77	77	76—75	58	58
11. I.	8 N.—9 V.	dunkel	„ „	—	13	—	—	—	140	10,8
	9—11	„	„ „	—23	2	—	—	—	—	—
	11—12	„	„ „	23—22	1	122	122	94—80	50	50
	12 - 1	„	„ „	22 - 21,5	1	96	96	80	58	58
	1—4	Licht	„ „	21,5—23	3	316	105	80—91	115	38
	4—5	„	„ „	23	1	128	128	91—95	32	32
	5—6	„	„ „	23	1	?45	?45	95—94	33	33
	6—7	dunkel	„ „	23—22	1	113	113	94—78	54	54
	7—8	„	„ „	22	1	112	112	78	52	52
13. I.	10—11	„	„ „	19,5—19	1	—	—	88—73	42	42
	11—12	Licht	mit Säure 1 : 127000	19—21	1	—	—	73	33	33
	12—1	„		21—22	1	—	—	73—85	37	37
	1—4	„		22—23	3	—	—	85—87	122	41
	4—5	dunkel	ohne Säure	23—22	1	—	—	87—78	43	43
	5—6	„	„ „	22—21	1	—	—	78	56	56
	6—7	„	„ „	21	1	—	—	78	47	47
	7—8	„	„ „	21	1	—	—	78	57	57
			Versuch 10.							
13. XII.	9—10	dunkel	ohne Säure	16,5—17	1	110	110	95—90	22	22
	10—11	„	„ „	17—17,5	1	77	77	90—88	29	29
	11—12	„	„ „	17,5—19	1	84	84	88—81	31	31
	12—1	„	mit Säure 1 : 42000	19—20	1	104	104	81—71	37	37
	1—2	„		20 - 18	1	110	110	71—73	43	43
	2—3	„		18—21	1	114	114	73	47	47
	3—4	„		21	1	93	93	73—75	45	45
	4—5	„	ohne Säure	21—20	1	94	94	75	47	47
	5—6	„	„ „	20—19	1	99	99	75	47	47
	6—7	„	„ „	19—18,5	1	117	117	75—70	50	50
14. XII.	8 N.—9 V.	„	„ „	18,5—15	14	Pumpe abgestellt		—	222	16
	9—10	„	„ „	15—15,5	1	—	123	99—92	15	15
	10—11	„	„ „	15,5—17	1	126	126	92—81	25	25
	11—12	„	„ „	17—19,5	1	114	114	81—77	33	33

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser
14. XII.	12—1	dunkel	mit Säure 1 : 26000	19,5	1	115	115	77—76	39	39
	1—2	„		19,5—18,5	1	120	120	76—77	43	43
	2—3	„	mit Säure 1 : 27000	18,5—17,5	1	112	112	77	41	41
	3—4	„		17,5—17	1	109	109	77—78	37	37
	4—5	„	ohne Säure	17—18	1	109	109	78	37	37
	5—6	„	„ „	18	1	121	121	78—77	37	37
	6—7	„	„ „	18	1	96	96	77—78	53	53
			Versuch 11.							
7. VIII.	$10—10^{15}$	diffuses Tageslicht hinter einem Südfenster, direkte Sonne abgeblendet.	ohne Säure	21	1/4	51	—	76	13,5	—
	$10^{15}—10^{30}$		„ „	21	1/4	55	—	76	10,5	—
	$10^{30}—10^{45}$		„ „	21	1/4	55	—	76	9	—
	$10^{45}—11$		„ „	21	1/4	55	216	76	9,5	42,5
	$11—11^{15}$		„ „	21	1/4	51	—	76	9	—
	$11^{15}—11^{30}$			21	1/4	52	—	76	8,5	—
	$11^{30}—11^{45}$			21	1/4	58	—	76	6,5	—
	$11^{45}—12$			21	1/4	51	212	76	6,5	30,5
	$12—12^{15}$		mit Säure 1 : 3200	21	1/4	57	—	76	6	—
	$12^{15}—12^{30}$			21	1/4	58	—	76	6	—
	$12^{30}—12^{45}$			21	1/4	53	—	76	6	—
	$12^{45}—1$			21	1/4	53	221	76	4,5	22,5
	$1—3^{45}$			21—21,5	2 3/4	588	—	76	62	—[1]
	$3^{45}—4$		ohne Säure	21,5	1/4	53	214	76	6	23
	$4—4^{15}$		„ „	21,5	1/4	56	—	76	6	—
	$4^{15}—4^{30}$		„ „	21,5	1/4	46	—	76	5	—
	$4^{30}—4^{45}$		„ „	21,5	1/4	57	—	76	5,5	—
	$4^{45}—5$		„ „	21,5	1/4	53	212	76	4,5	21
	$5—5^{15}$		„ „	21,5	1/4	49	—	76	6	—
	$5^{15}—5^{30}$		„ „	21,5	1/4	50	—	76	4,5	—
	$5^{30}—5^{45}$		„ „	21,5	1/4	52	—	76	5	—
	$5^{45}—6$		„ „	21,5—22,5	1/4	56	267	76	5,5	21
	6—7		„ „	22,5—22	1	197	197	76	18,5	18,5[2]
8. VIII.	9 V.	—	—	—	—	—	—	76	—	—[3]
			Versuch 12.							
27. IX.	$12^{15}—12^{30}$	diffuses	ohne Säure	19,5—21	1/4	—	—	66	12	—
	$12^{30}—12^{45}$	Tages-	„ „	21	1/4	—	—	66	13	—
	$12^{45}—1$	licht im	„ „	21	1/4	216	—	66	12	49
	1—4	Zimmer	„ „	21	3	631	210	66	147	49

[1]) Schwache Injektionen entlang der Mittelrippe des Blattes.

[2]) Blätter olivbraun.

[3]) Die meisten Blätter intensiv braun; Injektionen nur spurenweise vorhanden.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser
27. IX.	4—4^{15}	diffuses Tageslicht im Zimmer	ohne Säure	21	$^1/_4$	—	—	66	10	—
	4^{15}—4^{45}			21	$^1/_2$	—	—	66	18	—
	4^{45}—5		mit Säure 1 : 130900	21	$^1/_4$	206	206	66	9	37
	5—5^{30}			21	$^1/_2$	—	—	66	16	—
	5^{30}—6			21	$^1/_2$	221	221	66	13	29
	6—6^{30}			21	$^1/_2$	—	—	66	15	—
	6^{30}—6^{45}			21	$^1/_4$	—	—	66	8	—
	6^{45}—7			21—21,5	$^1/_4$	204	204	66	6	29
28. IX.	7 N.—9^{30} V.	dunkel	ohne Säure	21,5—19	14$^1/_2$	Pumpe abgestellt		100	167	11,5
	9^{30}—10^{30}	diffuses Tageslicht im Zimmer	„ „	19	1	224	224	100—70	14	14
	10^{30}—11		„ „	19	$^1/_2$	111	222	70—69	9	18
	11—11^{30}		„ „	19	$^1/_2$	222	222	69	11	—
	11^{30}—12		„ „	19	$^1/_2$		222	69	13	24
	12—12^{30}		„ „	19	$^1/_2$	219	219	69	13	—
	12^{30}—1		„ „	19—20	$^1/_2$		219	69	12	25
	1—4		„ „	20—21,5	3	660	220	69	72	24 [1]
	4—4^{30}		„ „	21,5	$^1/_2$	228	228	69	12	—
	4^{30}—5		„ „	21,5	$^1/_2$		228	69	11	23
	5—5^{30}		„ „	21,5	$^1/_2$	216	216	69	10	—
	5^{30}—6		„ „	21,5	$^1/_2$		216	69	11	21
	6—6^{30}		„ „	21,5	$^1/_2$	114	228	69	11	22
			Buxus sempervirens. Versuch 13 [2].							
14. XI.	12^{15}—6 N.	Licht	ohne Säure	14—13	5$^3/_4$	528	—	95—50	53	9,2
15. XI.	6 N.—11 V.	dunkel	„ „	13—11	17	Pumpe abgestellt		100	125	3,7
	11—12	„	„ „	11—13	1	96	96	100—97	5	5
	12—12^{30}	„	„ „	13—16	$^1/_2$	47	94	97—77,5	2	4
	12^{30}—3^{45}	„	„ „	16—20,5	3$^1/_4$	299	92	77,5—56	32	10
	3^{45}—5^{45}	Licht	„ „	20,5—21	2	199	100	56—50	31	15,5
	5^{45}—6^{45}	„	„ „	21—21,5	1	136	136	50—40	19	19
	6^{45}—7^{15}	„	„ „	21,5—22	$^1/_2$	74	148	40—39	9	18
	7^{15}—7^{30}	„	„ „	22	$^1/_4$	24	96	39	4	16
16. XI.	7^{30} N.—9^{30} V.	dunkel	„ „	22—11	14	1417	101	39—36	226	16
	9^{30}—10^{30}	Licht	„ „	11—20	1	99	99	36—40	16	16
	10^{30}—11^{30}	„	„ „	20—21,5	1	93	93	40—45	18	18
	11^{30}—12^{30}	„	„ „	21,5—22	1	99	99	45	18	18
	12^{30}—3^{30}	„	mit Säure	22—23,5	3	271	90	45—52	60	20
	3^{30}—4^{30}	„	„ „	23,5	1	89	89	52	22	22
	4^{30}—5^{30}	„	„ „	23,5—23	1	104	104	52—47	21,5	21,5
	5^{30}—6^{30}	„	„ „	23	1	125	125	47—46	21,5	21,5
	6^{30}—7^{30}	„	„ „	23—23	1	125	125	46—45	21	21

[1]) Ränder der Blätter braun. [2]) Künstliche Beleuchtung.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur °C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft l	Stündlich durchgesogene Luftmenge l	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser Skalenteile
			Buche. Versuch 14.							
14.VIII.	11^{45}—12	diffuses Tageslicht im Zimmer; trüber Tag	ohne Säure	17	1/4	49	196	67	25	(100)
	12—12^{15}		„ „	17	1/4	—	—	67	20	—
	12^{15}—12^{30}		„ „	17	1/4	—	—	67	18	—
	12^{30}—12^{45}		„ „	17	1/4	—	—	67	18	—
	12^{45}—1		„ „	17	1/4	197	197	67	13	69
	1—4		mit Säure	17	3	—	—	67	283	94
	4—5		1 : 230000	17	1	815	204	67	63	63 [1]
	5—6		ohne Säure	17	1	196	196	67	62	62
	6—7		„ „	17	1	199	199	67	73	73 [1]
15.VIII.	10 V.	—	„ „	—	—	Pumpe abgestellt		—	—	— [2]
16.VIII.	12 V.	—	—	—	—	—	—	—	—	— [3]
			Versuch 15.							
16.VIII.	10^{15}—11	diffuses Tageslicht im Zimmer	ohne Säure	19,5	3/4	40	—	95—80	45	60
	11—12		„ „	19,5	1	204	204	80—74	49	49
	12—1		„ „	19,5	1	207	207	74	52	52
	1—4		„ „	19,5	3	Pumpe abgestellt		100	46	18 [1]
	4—5		„ „	19,5	1	?	?	100	45	45
	5—6		„ „	19,5	1	200	200	—	52	52
	6—7		„ „	19,5—23	1	213	213	74	44	44 [1]
18.VIII.	10—11 V.		„ „	21	1	—	—	100—99	7	— [1]
	11—11^{40}		„ „	21	2/3	—	—	99	25	37
	11^{40}—12^{30}			21	5/6	197	236	80	48	58
	12^{30}—1			21	1/2	—	—	80	24	48
	1—4		mit Säure	21	3	—	—	80	163	54
	4—5		1 : 648000	21	1	—	—	80	52	52
	5—6^{8}			21	$1^{2}/_{15}$	—	—	80	53	47
	6^{8} —7			21	$^{13}/_{15}$	1294	169	80	37	43 [1]
19.VIII.	7 N.—9 V.	dunkel	ohne Säure	—	14	Pumpe abgestellt		100	214	15 [4]
	10 V.	—	—	—	—	—	—	—	—	— [5]
	10^{15} V.	—	—	—	—	—	—	—	—	— [6]
	12^{30} N.	—	—	—	—	—	—	—	—	— [7]

[1]) Keine Injektionen aufgetreten.
[2]) Alle Blätter injiziert.
[3]) Die meisten Blätter stark fleckig; Injektionen verschwunden.
[4]) Injektionen mittelstark an allen Blättern.
[5]) Zweig unter der Glocke herausgenommen.
[6]) Injektionen stark zurückgegangen.
[7]) Alle Injektionen verschwunden.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur °C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser Skalenteile
				Versuch 16.						
19. VIII.	10^{15}—10^{30}	diffuses Tageslicht im Zimmer	mit Säure 1 : 1800000	22	1/4	—	—	—	27	—
	10^{30}—10^{45}			22	1/4	—	—	—	36	—
	10^{45}—11			22	1/4	115	230	79—75	36,5	132,7
	11—11^{30}			22	1/2	—	—	75	38,5	—
	11^{30}—11^{45}			22	1/4	—	—	75	30	—
	11^{45}—12			22	1/4	217	217	75	22	90,5
	12—12^{15}			22	1/4	—	—	75	24	—
	12^{15}—12^{30}			22	1/4	—	—	75	26	—
	12^{30}—12^{45}			22	1/4	—	—	75	25,5	—
	12^{45}—1			22	1/4	232	232	75	27,5	103,0
	1—4			22—22,5	3	571	190	75	?	?
	4—4^{30}			22,5	1/2	—	—	75	54	—
	4^{30}—5			22,5	1/2	222	222	75	54	108
	5—5^{30}			22,5	1/2	—	—	75	44,5	—
	5^{30}—6			22,5	1/2	210	210	75	41,5	86
	6—6^{30}			22,5—23	1/2	—	—	75	44	—
	6^{30}—7			23—22,5	1/2	227	227	75	?	88 [1]
20. VIII.	7 N.—9 V.	dunkel	ohne Säure	—	14	Pumpe abgestellt		100	160	11 [1]
	9 V.—12^{20}	„	„ „	21	3 1/3	—	—	100—90	—	—
	12^{20}—12^{45}	diffuses Tageslicht im Zimmer	mit Säure, anfänglich 1 : 660900, am Ende 1 : 727000	21	5/12	—	—	90—85	38	—
	12^{45}—1			21	1/4	149	223	85—80	21	89
	1—4			22	3	659	220	80—78	245	82
	4—4^{30}			22	1/2	—	—	78	48	—
	4^{30}—5			22	1/2	219	219	78	48	96
	5—5^{30}			22	1/2	—	—	78	47	—
	5^{30}—6			22	1/2	205	205	78	47	94
	6—6^{30}			22	1/2	—	—	78	41	—
	6^{30}—7			22	1/2	222	222	78	46	87 [1]
21. VIII.	7 N—9^{30} V.	dunkel	ohne Säure	—	14 1/4	Pumpe abgestellt		100	108	7 [2]
	10^{30}	—	—	—	—	—	—	—	—	— [3]
	11^{15}	—	—	—	—	—	—	—	—	— [4]
	12^{15}	—	—	—	—	—	—	—	—	— [5]

[1]) Keine Injektionen.
[2]) Injektionen nicht an allen Blättern aufgetreten.
[3]) Der Zweig unter der Glocke herausgenommen.
[4]) Injektionen schon stark vermindert.
[5]) Alle Injektionen verschwunden.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur °C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft l	Stündlich durchgesogene Luftmenge l	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser Skalenteile
			Versuch 17.							
11. VIII.	11—11^{15}	diffuses Tageslicht im Zimmer, trüber Tag	ohne Säure	19	$^1/_4$	—	—	76	16	—
	11^{15}—11^{30}		„ „	19	$^1/_4$	—	—	76	16	—
	11^{30}—11^{45}		„ „	19	$^1/_4$	—	—	76	22	—
	11^{45}—12		„ „	19	$^1/_4$	214	214	76	19,5	73,5
	12—12^{15}		„ „	19	$^1/_4$	—	—	76	23	—
	12^{15}—12^{30}		„ „	19	$^1/_4$	—	—	76	24,5	—
	12^{30}—12^{45}		„ „	19	$^1/_4$	—	—	76	26	—
	12^{45}—1		„ „	19	$^1/_4$	212	212	76	21	94,5
	1—4		mit Säure 1 : 94000	19	3	623	208	76	400	133
	4—4^{15}			19	$^1/_4$	—	—	76	13	—
	4^{15}—4^{30}			19	$^1/_4$	—	—	76	14	—
	4^{30}—4^{45}			19	$^1/_4$	—	—	76	14	—
	4^{45}—5			19	$^1/_4$	207	207	76	13	54
	5—5^{15}		ohne Säure	19	$^1/_4$	—	—	76	13	—
	5^{15}—6		„ „	19	$^3/_4$	208	208	76	35	48
	6—6^{30}		„ „	19	$^1/_2$	—	—	76	23	—
	6^{30}—7		„ „	18	$^1/_2$	204	204	76	19	42 [1]
12. VIII.	7 N.—10^{08}V.	dunkel	„ „	—	15	Pumpe	abgestellt	100	236	16 [2]
	10^{08}—10^{15}	diffuses Tageslicht im Zimmer	„ „	18	$^7/_{60}$	—	—	100	1	—
	10^{15}—10^{30}		„ „	17	$^1/_4$	—	—	100—90	4	—
	10^{30}—10^{45}		„ „	17	$^1/_4$	—	—	90—80	6	—
	10^{45}—11		„ „	17	$^1/_4$	143	165	80—75	7	21
	11—11^{15}		„ „	17	$^1/_4$	—	—	75—71	9	—
	11^{15}—11^{30}		„ „	17	$^1/_4$	—	—	71	9	—
	11^{30}—11^{45}		„ „	17	$^1/_4$	—	—	71	10	—
	11^{45}—12		„ „	17	$^1/_4$	211	211	71	9	37
	12—12^{30}		„ „	17	$^1/_2$	—	—	71	16,5	—
	12^{30}—1		„ „	17	$^1/_2$	210	210	71	18	34,5
	1—4		„ „	17	3	620	210	71	153	51
	4—4^{35}		„ „	17	$^7/_{12}$	—	—	71	24	—
	4^{35}—5		„ „	17	$^5/_{12}$	211	211	71	17,5	41,5
	5—5^{30}		„ „	17	$^1/_2$	—	—	71	20,5	—
	5^{30}—6		„ „	17	$^1/_2$	209	209	71	16,5	37
	6—6^{30}		„ „	17	$^1/_2$	—	—	71	16,5	—
	6^{30}—7		„ „	17,5	$^1/_2$	211	211	71	16	32,5 [3]
13. VIII.	7 N.—9^{15}V.	dunkel	„ „	17,5—16,5	12$^1/_4$	Pumpe	abgestellt	100	82,5	6,7 [4]

[1]) Keine Injektionen, keine Beschädigungen.
[2]) Injektionen vorhanden.
[3]) Beschädigungen im Anfangsstadium.
[4]) Injektionen stärker geworden. Beschädigung stärker als am vorhergehenden Abend.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser
			Versuch 18.							
5. VIII.	9^{32}—10 V.	diffuses Tageslicht im Zimmer	ohne Säure	18,5	$^7/_{15}$	106	227	87—89	65,5	140
	10—11		„ „	18,5	1	224	224	89	75,5	75,5
	11—12		„ „	18,5	1	225	225	89	60	60
	12—1		1 : 4470	18,5	1	228	228	89	54,5	54,5
	1—4		ohne Säure	18,5	3	685	228	89	152	51 [1]
	4—5		„ „	18,5	1	—	229	89	48	48
	5—6		„ „	18,5	1	458	229	89	49	49
	6—7		„ „	18,5	1	224	224	89—90	45	45
6. VIII.	7 N.—9 V.	dunkel	„ „	18,5	14	Pumpe abgestellt		100	119	8,5 [2]
	9—9^{30}V.	diff. Licht	„ „	18,5	$^1/_2$			100	9	18
			Versuch 19.							
4. VIII.	10^{45}—11	diffuses Tageslicht im Zimmer, trüber Tag	ohne Säure	19	$^1/_4$	47	188	85—67	12	48
	11—12		„ „	19	1	249	249	67—65	77	77
	12—1		„ „	19	1	235	235	65—67	77	77
	1—4		1 : 5000	19	3	615	205	67—79	145	48 [1]
	4—5		ohne Säure	19	1	239	239	79—78	31,5	31,5
	5—6		„ „	19	1	242	242	78—76	31,5	31,5
	6—7		„ „	19	1	240	240	76	30	30
5. VIII.	7 N.—9^{15} V.	dunkel	„ „	19	$14^1/_4$	Pumpe abgestellt		100	123	8 [3]
			Eiche. Versuch 20.							
26. VIII.	10^{45}—11	diffuses Tageslicht im Zimmer	ohne Säure	20,5	$^1/_4$	57	228	82—70	22	88
	11—11^{15}		„ „	20,5	$^1/_4$	53	—	70—64	16	—
	11^{15}—11^{30}		„ „	20,5	$^1/_4$	58	—	64	13	—
	11^{30}—11^{45}		„ „	20,5	$^1/_4$	49	—	64	11	—
	11^{45}—12		„ „	20,5	$^1/_4$	57	217	64	12	52
	12—12^{15}		„ „	20,5	$^1/_4$	57	—	64	12	—
	12^{15}—12^{30}		„ „	20,5	$^1/_4$	53	—	64	11	—
	12^{30}—12^{45}		„ „	20,5	$^1/_4$	56	—	64	12	—
	12^{45}—1		„ „	20,5	$^1/_4$	56	222	64	11	46
	1—4			21	3	666	222	64	126	42
	4—4^{30}			21	$^1/_2$	121	—	64	25	—
	4^{30}—5		mit Säure	21	$^1/_2$	110	231	64	20	45
	5—5^{30}		1 : 103000	21	$^1/_2$	109	—	64	20	—
	5^{30}—6			21	$^1/_2$	121	230	64	21,5	41,5
	6—6^{30}			21	$^1/_2$	—	—	64	17,5	—
	6^{30}—7			21	$^1/_2$	200	200	64	20	37,5 [4]

[1]) Injektionen aufgetreten.
[2]) Injektionen vorhanden. Die Blätter beschädigt.
[3]) Injektionen mehr und stärker geworden als am vorhergehenden Tage. Es treten schon Beschädigungen an den Blättern auf.
[4]) Keine Beschädigungen und keine Injektionen.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser
27. VIII.	7 N. — 9^{45} V.	dunkel	Ohne Säure	21—20	$14^{3}/_{4}$	—	—	—	232	15
	9^{45}—10^{45}	diffuses Tagesl.	„ „	20	1	212	212	—	21	21
	10^{45}—11^{45}	diffuses Tagesl.	„ „	20—19,5	1	222	222	66	43	43[1])
			Versuch 21.							
23. VIII.	11^{15}—11^{30}	diffuses Tageslicht	ohne Säure	20	$^{1}/_{4}$	41	—	80	47	—
	11^{30}—11^{45}	diffuses Tageslicht	mit Säure anfänglich 1 : 48000 zum Schluß 1 ; 50000	—	$^{1}/_{4}$	57	—	80	34	—
	11^{45}—12	diffuses Tageslicht		—	$^{1}/_{4}$	58	208	80—76	23	138
	12—12^{15}	diffuses Tageslicht		—	$^{1}/_{4}$	58	—	76	20	—
	12^{15}—12^{30}	diffuses Tageslicht		—	$^{1}/_{4}$	55	—	76	24	—
	12^{30}—12^{45}	diffuses Tageslicht		—	$^{1}/_{4}$	55	—	76	15,5	—
	12^{45}—1	diffuses Tageslicht		20—20,5	$^{1}/_{4}$	54	222	76	13,5	73
	1—4	diffuses Tageslicht		20,5—22	3	676	225	76	166	55
	4—4^{30}	diffuses Tageslicht		22	$^{1}/_{2}$	106	—	76	28	—
	4^{30}—5	diffuses Tageslicht		22	$^{1}/_{2}$	118	224	76	26	54
	5—5^{30}	diffuses Tageslicht		22	$^{1}/_{2}$	105	—	76	23	—
	5^{30}—6	diffuses Tageslicht		22	$^{1}/_{2}$	109	214	76	23	46
	6—6^{30}	diffuses Tageslicht		22	$^{1}/_{2}$	112	—	76	24	—
	6^{30}—7	diffuses Tageslicht		22	$^{1}/_{2}$	113	225	76	22	46[1])
24. VIII.	7 N. — 10 V.	dunkel	ohne Säure	22—21,5	15	Pumpe abgestellt		100	214	14
25. VIII.	9^{15}—9^{30}	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	—	—	100	—	—[2])
	9^{30}—9^{45}	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	—	—	100	3	—
	9^{45}—10	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	53	212	100	3	12
	10—10^{15}	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	66	—	100—95	7	—
	10^{15}—10^{45}	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{2}$	110	—	95—90	13	—
	10^{45}—11	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	54	230	90—87	8	28
	11—11^{15}	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	63	—	87—85	11	—
	11^{15}—11^{30}	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	51	—	85—82	10	—
	11^{30}—11^{45}	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	62	—	82—80	13	—
	11^{45}—12^{15}	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{2}$	109	230[3])	80	26	37
	12^{15}—12^{30}	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	57	—	80—78	14	—
	12^{30}—12^{45}	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	60	—	78	16	—
	12^{45}—1	diffuses Tageslicht	„ „	20,5	$^{1}/_{4}$	46	217	78	13	56
	1—4	diffuses Tageslicht	„ „	20,5—21	3	695	232	78	242	81
	4—4^{30}	diffuses Tageslicht	„ „	21	$^{1}/_{2}$	—	—	78	35	—
	4^{30}—5	diffuses Tageslicht	„ „	21	$^{1}/_{2}$	234	234	78	33	68
	5—5^{30}	diffuses Tageslicht	„ „	21	$^{1}/_{2}$	—	—	78	32	—
	5^{30}—6	diffuses Tageslicht	„ „	21	$^{1}/_{2}$	224	224	78	26,5	58,5
	6—6^{30}	diffuses Tageslicht	„ „	21	$^{1}/_{2}$	—	—	78	27,5	—
	6^{30}—7	diffuses Tageslicht	„ „	21—21,5	$^{1}/_{2}$	225	225	78—79	27	54,5

[1]) Keine Beschädigungen und keine Injektionen. — [2]) Mehrere Blätter beschädigt, gelbe Flecken auf alten und neuen Blättern. — [3]) Für den Zeitpunkt 12 Uhr.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser Skalenteile
				Versuch 22.						
8. VIII.	9^{45}—10	diffuses Tageslicht	ohne Säure	20,5	1/4	53	212	76	21	104
	10—10^{15}		„ „	20,5	1/4	54	—	76	16,5	—
	10^{15}—10^{30}		„ „	20,5	1/4	65	—	76	15	—
	10^{30}—10^{45}		„ „	20,5	1/4	46	—	76	15	—
	10^{45}—11		„ „	20,5	1/4	57	222	76	16	62,5
	11—11^{15}		„ „	20,5	1/4	55	—	76	17	—
	11^{15}—11^{30}		mit Säure 1 : 3900	20,5—21	3/10	59	—	76	17	—
	11^{30}—11^{48}			21	1/5	64	—	76	19	—
	11^{48}—12			21	1/4	45	223	76	12	65
	12—12^{15}			21	1/4	49	—	76	13,5	—
	12^{15}—12^{30}			21	1/4	58	—	76	15,5	—
	12^{30}—12^{45}			21	1/4	60	—	76	14,5	—
	12^{45}—1			21	1/4	53	220	76	14,5	58
	1—4		ohne Säure	21	3	676	225	76	173	58
	4—4^{15}		„ „	21—22	1/4	41	—	76	16	—
	4^{15}—4^{30}		„ „	22	1/4	57	—	76	16	—
	4^{30}—4^{45}		„ „	22	1/4	56	—	76	16	—
	4^{45}—5		„ „	22	1/4	52	206	76	16	64
	5—5^{15}		„ „	22	1/4	—	—	76	14,5	—
	5^{15}—5^{30}		„ „	22	1/4	118	—	76	15,5	—
	5^{30}—5^{45}		„ „	22	1/4	55	—	76	15	—
	5^{45}—6		„ „	22	1/4	46	219	76	13	58
	6—6^{30}		„ „	22	1/2	117	—	76	31	—
	6^{30}—7		„ „	22	1/2	111	228	76	29	60[1]
9. VIII.	9 V.	—	—	—	—	—	—	76	—	—[2]
				Birke. Versuch 23.						
4. IX.	10^{30}—11	diffuses Tageslicht	ohne Säure	24	1/2	112	224	75	45	90
	11—11^{30}		„ „	24	1/2	—	—	75	31	—
	11^{30}—12		„ „	24	1/2	199	199	75	28	59
	12—12^{30}		„ „	24—23,5	1/2	—	—	75	24	—
	12^{30}—1		„ „	23,5	1/2	229	229	75	26	50
	1—4		mit Säure 1 : 85000	23,5—23	3	632	211	75	129	43
	4—4^{30}			23	1/2	—	—	75	13	—
	4^{30}—5			23	1/2	209	209	75	12	25
	5—5^{30}			23	1/2	—	—	75	10	—
	5^{30}—6			23	1/2	211	211	75	11	21
	6—6^{30}			23	1/2	—	—	75	10	—
	6^{30}—7			23 - 23,5	1/2	217	217	75	10	20
5. IX.	7 N. —9^{15} V.	dunkel	—	—	$14^1/_4$	Pumpe abgestellt		96	91	6[3]

[1]) Keine Injektionen, an einem Blatte kleine Beschädigungen. — [2]) Kleine Fleckenan einer größ. Zahl v. Blättern. — [3]) Keine Injektionen, vielleicht schwache Beschädigungen.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft l	Stündlich durchgesogene Luftmenge l	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser Skalenteile
			Weinstock. Versuch 24.							
29. VIII.	10 V. — 10^{15} V.	diffuses Tageslicht	ohne Säure	20,5	1/4	—	—	81	9	—
	10^{15} — 10^{30}		„ „	20,5	1/4	—	—	81	5	—
	10^{30} — 10^{45}		„ „	20,5	1/4	—	—	81—76	7	—
	10^{45} — 11		„ „	20,5—21	1/4	203	203	76—75	7	28
	11 — 11^{15}		„ „	21	1/4	—	—	75	8	—
	11^{15} — 11^{30}			21	1/4	—	—	75	7	—
	11^{30} — 12			21	1/2	217	217	75—74	15	30
	12 — 12^{30}			21	1/2	—	—	74	14	—
	12^{30} — 1			21	1/2	213	213	74	14	28
	1 — 4		mit Säure	21	3	645	215	74	91	30
	4 — 4^{30}		1 : 149000	21	1/2	—	—	74	12,5	—
	4^{30} — 5			21	1/2	190	190	74	11,5	24
	5 — 5^{30}			21—24	1/2	—	—	74	11	—
	5^{30} — 6			24	1/2	185	185	74	9	20
	6 — 6^{30}			24	1/2	—	—	74	10	—
	6^{30} — 7			24	1/2	189	189	74	10	20
30. VIII.	7 N. — 10 V.	dunkel	ohne Säure	—	15	Pumpe abgestellt		100	190	7[1]
			Acer Pseudo-Platanus. Versuch 25.							
6. VIII.	9^{45} — 10 V.	diffuses Tageslicht	ohne Säure	19	1/4	56	224	86—89	12	48
	10 — 10^{30}		„ „	19	1/2	108	—	89—91	26,5	—
	10^{30} — 10^{45}		„ „	19	1/4	58	—	91—90	12,5	—
	10^{45} — 11		„ „	19	1/4	54	220	91	10	49
	11 — 11^{15}		„ „	19	1/4	57	—	91	11	—
	11^{15} — 11^{30}		„ „	19	1/4	50	—	91	9	—
	11^{30} — 11^{45}		„ „	19	1/4	57	—	91—90	10	—
	11^{45} — 12			19	1/4	52	216	90	10	40
	12 — 12^{15}		mit Säure	19—20	1/4	57	—	90	10	—
	12^{15} — 12^{30}		1 : 4000	20	1/4	56	—	90	8,5	—
	12^{30} — 12^{45}			20	1/4	58	—	90	7,5	—
	12^{45} — 1			20	1/4	50	221	90	7,5	33,5[2]
	1 — 3^{45}		ohne Säure	20	2 3/4	604	220	90	127,5	46
	3^{45} — 4		„ „	20	1/4	56	224	90	13	(52)
	4 — 4^{30}		„ „	20	1/2	112	—	90	20	—
	4^{30} — 5		„ „	20	1/2	108	220	90	20	40
	5 — 5^{30}		„ „	20	1/2	—	—	90	18	—
	5^{30} — 6		„ „	20	1/2	215	215	90	17	35
	6 — 6^{30}		„ „	20	1/2	109	—	90	17	—
	6^{30} — 7		„ „	20	1/2	116	225	90—91	15	32
7. VIII.	10^{30} V.	—	—	—	—	—	—	—	—	—[3]

[1]) Beschädigungen a. d. Blättern. — [2]) Keine Injektionen. — [3]) Alle Blätter olivbraun.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser Skalenteile
			Versuch 26.							
8. IX.	10^{30}—11^{30}	diffuses Tageslicht	ohne Säure	—	1	200	200	—	26	26
	11^{30}—12		„ „	—	½	108	216	—	17	34
	12—12^{30}		„ „	—	½	—	—	—	16	—
	12^{30}—1		„ „	—	½	227	227	—	20	36
	1—4			—	3	650	217	—	128	43
	4—4^{30}			—	½	—	—	—	19	—
	4^{30}—5		mit Säure	—	½	229	229	—	22	41
	5—5^{30}		1 : 52500	—	½	—	—	—	20	—
	5^{30}—6			—	½	220	220	—	21	41
	6—7			—	1	210	210	—	36	36
9. IX.	7 N.— 9^{15} V.	dunkel	ohne Säure	—	$14^{1}/_{4}$	Pumpe abgestellt		—	283	20
	9^{15}—10^{15}	diffuses Tageslicht	„ „	—	1	195	195	—	20	20
	10^{15}—11^{15}		„ „	—	1	215	215	—	25	25
	11^{15}—12^{15}		„ „	—	1	220	220	—	27	27
	12^{15}—12^{45}		„ „	—	½	—	—	—	13	26
	12^{45}—4			—	$3^{1}/_{4}$	692	184	—	94	29
	4—4^{30}			—	½	—	—	—	13	—
	4^{30}—5		mit Säure	—	½	213	213	—	15	28
	5—5^{30}		1 : 58500	—	½	—	—	—	13	—
	5^{30}—6 N.			—	½	211	211	—	15	28
	6—7 N.			—	1	231	231	—	29	29
10. IX.	7 N. - 10 V.	dunkel	ohne Säure	—	15	—	—	—	232	15,4[1])
			Versuch 27.							
17. IX.	10^{15}—11^{15}	diffuses Tageslicht	ohne Säure	—	1	222	222	70—73	25	25
	11^{15}—12^{15}		„ „	—	1	231	231	73	33	33
	12^{15}—1		„ „	—	¾	147	196	73	22	29
	1—4		„ „	—	3	635	212	73	127	42
	4—4^{30}		„ „	—	½	—	—	73	25	—
	4^{30}—5		„ „	—	½	216	216	73	26	51
	5—5^{30}		„ „	—	½	—	—	73	23	—
	5^{30}—6		„ „	—	½	204	204	73	24	47
	6—6^{30}		„ „	—	½	—	—	73	25	—
	6^{30}—7		„ „	—	½	209	209	73	23	48
18. IX.	7 N.— 9^{15} V.	dunkel	„ „	—	$14^{1}/_{4}$	Pumpe abgestellt		100	364	26
	9^{15}—10	diffuses Tageslicht	„ „	—	¾	112	149	100—88	23	31
	10—11^{15}		„ „	—	¾	173	138	88—80	45	36
	11^{15}—12		„ „	—	¾	113	151	80—79	33	44
	12—12^{30}		„ „	—	½	78	156	79	24	48
	12^{30}—4		mit Säure	—	$3^{1}/_{2}$	522	149	79	144	41
	4—4^{30}		1 : 98000	—	½	—	—	79	20	—

[1]) Keine Injektionen, aber Beschädigungen an den Blättern.

Datum	Zeit	Beleuchtungsverhältnisse	Säureverhältnis	Temperatur ° C.	Anzahl der Stunden	Während derselb. durchgesog. Luft 1	Stündlich durchgesogene Luftmenge 1	Relative Feuchtigkeit %	Aufgenommenes Wasser Skalenteile	Stündlich aufgenommenes Wasser
18. IX.	4^{30}—5	diffuses Tageslicht	mit Säure 1 : 98000	—	½	146	146	79	21	41
	5—5^{30}			—	½	—	—	79	20	—
	5^{30}—6			—	½	146	146	79	20	40
	6—7			—	1	129	129	79	34	34
19. IX.	7 N.—9^{30} V.	dunkel	ohne Säure	—	$14^1/_2$	—	—	100	123	8 [1])
			Weide. Versuch 28 [2]).							
25. VI.	11—12	dunkel	ohne Säure	22	1	121	121	67—68	50	50
	12—1	Licht	„ „	22—25	1	105	105	68—93	55	55
	1—4	„	„ „	25—27	3	344	115	93—94	182	61
	4—5	dunkel	„ „	27	1	118	118	94	49	49
	5—6	„	„ „	27—24	1	120	120	94—93	45	45
	6—7	„	„ „	24	1	68	68	94	30	30
26. VI.	7 N.—9 V.	„	„ „	—	14	Pumpe abgestellt		--	96	7
	9—10	„	„ „	22	1	—	—	96	8	8
	10—11	„	„ „	22	1	109	109	96—91	19	19
	11—12	Licht	„ „	22—24	1	93	93	91—92	36	36
	12—1	„	„ „	24—25	1	114	114	92—93	52	52
	1—4	„	„ „	25—27	3	315	105	93—95	249	83
	4—6	dunkel	„ „	27—24	2	205	103	95	76	38
	6—7	„	„ „	24—23,5	1	105	105	95—93	34	34
27. VI.	7 N.—9 V.	„	„ „	—	14	610	115	—	ca. 400	ca. 29
	9^{30}—10^{30}	„	„ „	22	1	58	115	95—93	25	25
	10^{30}—11^{30}	Licht	mit Säure 1 : 311800	22—24	1	86	86	93—95	42	42
	11^{30}—12^{30}	„		24—25	1	76	76	95	48	48
	12^{30}—1	„		25	½	61	122	95	25	50
	1—3^{30}	„		25—26	$2^1/_2$	520	102	95	135	54
	3^{30}—5^{30}	dunkel	ohne Säure	26—23	2	191	96	95—96	66	33
	5^{30}—6^{40}	„	„ „	23	$1^1/_6$	91	78	96—97	32	27,4
28. VI.	6^{40}—9^{15} V.	„	„ „	—	$14^7/_{12}$	1228	80	—	332	23
	9^{15}—10	„	„ „	23	¾	50	63	95	15	20
	10—11	„	„ „	23	1	83	83	95—90	45	45
	11—12	Licht	mit Säure	23—26	1	124	124	90—89	50	50
	12—1	„	1 : 267000	26—27	1	143	143	89—92	65	65
	1—4	„	1 : 930000	27—30	3	280	93	92 95	139	46
	4—6	dunkel	ohne Säure	30—27	2	180	90	95	74	37
	6—7	„	„ „	27—26,5	1	86	86	95	30	30
30. VI.	11—12^{10}	„	„ „	26,5—26	$1^1/_6$	79	68	95—94	37	32
	12^{10}—1	Licht	„ „	26—28	5/6	68	82	94	35	42
	1—4^{10}	„	„ „	28—30	$3^1/_6$	265	84	94	147	46
	4^{10}—6^{10}	dunkel	„ „	30—27	2	162	81	94	64	32
	6^{10}—7^{10}	„	„ „	27	1	75	75	94	26	26

[1]) Punktförmige Beschädigungen auf den meisten Blättern.
[2]) Künstliche Beleuchtung: Elektrisches Licht unter Zuführung von CO_2 0,08 %.

Tabelle

Beeinflussung des Längenwachstums

Helianthus

	1	2	3	4	5	6	Durchschnittl. Zuwachs N.
Versuch 1.							
29. Okt. 9^{55} V. bis 6^{05} N.	2,5	2,0	1,0	2,0	—	—	1,9
29. „ 6^{05} N. „ 30. Okt. 9^{45} V.	6	4,5	2,5	6	—	—	4,75
30. „ 9^{45} V. „ 31. „ 9 „	4,5	3,5	4,5	7	—	—	4,9
31. „ 9 „ „ 1. Nov. 9^{50} „	3	2,5	3,0	8	—	—	4,1
Versuch 2.							
2. Nov. 9 V. bis 6 N.	4	2	1,5	4,5	4	—	3,4
2. „ 6 N. „ 3 Nov. 8^{15} V.	8,5	4,5	4	7,0	7	—	6,2
3. „ 8^{15} V. „ 3. „ 6^{15} N.	3	2,5	2,5	4,5	4,5	—	**3,4**[2])
3. „ 6^{15} N. „ 4. „ 9 V.	8,5	4	6	7,5	7	—	6,6
Versuch 3.							
9. Nov. 9 V. bis 10. Nov. 9 V.	12	11,5	17,5	12,5	10,5	20	15,7
10. „ 9 „ „ 11. „ 8^{30} „	3,5	5,5	3,5	1,5	3,0	4	**3,5**[2])
11. „ 9^{15} „ „ 12. „ 9^{30} „	8	12	9	1	1,5	5	6,1
12. „ 9^{30} „ „ 14. „ 8^{30} „	9,5	23,5	6	—	4,5	2	9,1
Versuch 4.							
21. Febr. 11^{15} V. bis 22. Febr. 9^{25} V.	9,5	13	14	12	15	17,5	13,5
22. „ 9^{25} „ „ 23. „ 8^{30} „	10	9	12	11	13	9,5	**10,75**[2])
23. „ 8^{30} „ „ 24. „ 8^{30} „	7,5	9	11,5	6,5	15	10	9,9
Versuch 5.							
21. Nov. 10 V. bis 22. Nov. 8^{30} V.	5,25	5,25	4,25	9,0	13	7,5	7,3
22. „ 9^{30} „ „ 23. „ 8^{30} „	3,75	6,75	6,25	8,5	12,5	5,75	7,25
23. „ 8^{30} „ „ 24. „ 9 „	1,5	3	5,5	4,75	7	2	4
24. „ 9 „ „ 25. „ 10 „	—	2,25	0,5	3,75	3,5	0,75	1,8
25. „ 10 „ „ 27. „ 10^{30} „	0,5	3,25	3	4	1,5	1,5	2,3
Versuch 6.							
24. Nov. 10^{15} V. bis 25. Nov. 9 V.	11,25	9,5	6,75	13,5	15,5	8	10,75
25. „ 9 „ „ 26. „ 9 „	9,75	7,0	5	16,5	15,5	8	10,3
26. „ 9 „ „ 27. „ 10 „	7	3,5	2,75	13,5	10,5	4,5	7
27. „ 10 „ „ 28. „ 9^{15} „	2	1,5	0,5	2,5	3	1	1,75
28. „ 9^{15} „ „ 1 Dez. 12 M.	2,5	4,5	2,5	0,5	0,5	—	2,1

4.

durch die schweflige Säure.

annuus.

Durchschnittl. Zuwachs S.	1	2	3	4	5	6	7	
0,5[1])	1	—	0,5	0,5	—	1	—	[1]) Säure 1 : 22000
1,5	1,5	1	3,5	0,5	1,0	1,5	—	
3,25	3,5	1	7	0,5	2	5,5	—	
3,3	3,5	1	7	0,5	2	6	—	
2,9[1])	3	4,5	5	2,5	2	—	—	[1]) Säure 1 : 33500
5,6	6,5	7	6	6	2,5	—	—	[2]) „ 1 : 53000 9 V. — 2^{30} N.
4,3	5	4	6	3,5	3	—	—	1 : 93000 2^{45} N. — 6^{15} „
6,4	7	7	8	6	4	—	—	
8,9[1])	16,5	7,5	9	5,5	3,5	12,5	—	[1]) Säure 1 : 14800
5,75	10,5	9,5	3,5	2	2	7,5	—	[2]) „ 1 : 20400
3,6[3])	5	9	3	0,5	0,5	3,5	—	[3]) „ 1 : 19000
7,4	5,5	10	3,5	—	—	10,5	—	
8,5[1])	7	7	12,5	6,5	10	8	—	[1]) Säure 1 : 13000
12,3	14,5	10	13,5	8,5	11	16,5	—	[2]) „ 1 : 9800
4,25[3])	5,5	5	7	2,5	2	3,5	—	[3]) „ 1 : 16000
11,7[1])	11,5	11	9,25	15	—	—	—	[1]) Säure 1 : 26000
5,1[2])	5	5,5	2,75	7,25	—	—	—	[2]) „ 1 : 16700
1,4[3])	2,5	0,5	1,0	1,5	—	—	—	[3]) „ 1 : 18100
1,8	3,5	2	—	2,25	—	—	—	
5,5	6,75	3	2,5	10	—	—	—	
10,1[1])	13	13,25	5,5	9,5	5	11,5	13	[1]) Säure 1 : 19000
7,1[2])	8,25	9,75	4	5	5	5,5	12	[2]) „ 1 : 23000
3,2[3])	3,75	3,5	2,25	2,25	2	1	7,5	[3]) „ 1 : 13200
0,9	2	1	—	0,25	0,5	0,5	2	
3,5	8	5,5	1,2	1,5	—	4,0	4,5	

Tabelle 5.

Beinflussung des Flächenwachstums der Blätter durch die schweflige Säure.

Allium Cepa. Versuch 1.

Norm. Pflanzen	14. XII. 8^{30}	15. XII. 9 V.	16. XII. 9 V.	17. XII. 9^{30} V.	18. XII. 9. V.	19. XII. 10^{30}	20. XII. 9^{15}	Säure-pflanzen	14. XII. 8^{30} [1])	15. XII. 9 V. [2])	16. XII. 9 V.	17. XII. 9^{30} V. [3])	18. XII. 9 V.	19. XII. 10^{30}	20. XII. 9^{15}
95	25	28	23	5,5	21	10	8	52	**11**	**25**	23,5	**7**	16,5	26,5	23
57	31	35	32	9,5	23	36,5	29	93	**18,5**	**27,5**	23	**7**	15	16	17
97	36	39	33	11	25	29	24	118	**24**	**23**	16,5	**4,5**	8	11	8
								72	**19**	**29**	23	**7**	15	22	21
								86	**21**	**33,5**	21,5	**7,5**	13,5	22	14
								43	**12,5**	**24,5**	21	**6,5**	14,5	24	22
	92	102	88	26	69	75,5	61		106	162,5	128,5	39,5	82,5	121,5	105
	31	34	29	8,7	23	25,2	20		**17,7**	**27**	21,4	**6,6**	13,7	20,2	17,5

Versuch 2.

Norm. Pflanzen	28. XII. 10 V.	29. XII. 9^{30} V. [4])	30. XII. 9^{15}	Säure-Pflanzen	28. XII. 10 V. [5])	29. XII. 9^{30} V.	30. XII. 9^{15} [6])
142	19	**6**	22	98,5	**12,5**	16	**25**
216	16	**2**	21	169	**12**	18,5	**30,5**
123	16	**6,5**	14,5	155	**12**	20	**38**
198	20	**3**	19	61	**11**	13	**25**
				121	**16**	14	**30**
	71	17,5	76,5		63,5	81,5	148,5
	18	**4,4**	19		**12,7**	16,3	**29,7**

Versuch 3.

Norm. Pflanzen	31. XII. 10 V.	1. I. 9^{45} [7])	2. I. 10 V.	3. I. 8^{15} V.	4. I. 8^{30} V.	Säure-Pflanzen	31. XII. 10 V. [8])	1. I. 9^{45}	2. I. 10 V.	3. I. 8^{15} V. [9])	4. I. 8^{30} V.
97	30	**21**	13	18,5	16,5	86	**23**	18	8	**4,5**	7
39,5	18,5	**15**	9,5	14,5	21	38	**19,5**	22,5	12,5	**18**	30,5
71,5	24,5	**18**	13,5	18	26,5	93,5	**33**	32,5	16	**20,5**	30,5
97	18	**9,5**	7	6	7	63	**12**	20	7	**10**	10
74,5	26,5	**15,5**	10	14,5	13	54,5	**20,5**	25	15	**19**	29,5
39	21	**17**	11	19,5	23,5						
68,5	30	**23,5**	16	24,5	29						
	168,5	129,5	80	115,5	136,5		108	118	58,5	72	107,5
	24,1	**18,5**	11,4	16,5	19,5		**21,6**	23,6	11,7	**14,4**	21,5

[1]) Säure 1 : 11700. — [2]) Säure 1 : 12000. — [3]) Säure 1 : 12400. — [4]) Säure 1 : 9300. — [5]) Säure 1 : 15000. — [6]) Säure 1 : 17000. — [7]) Säure 1 : 11500. — [8]) Säure 1 : 15000. — [9]) Säure 1 : 9170.

Allium ascalonicum.

N.	18. XII. 10 V.	19. XII. 10^{30} [1])	20. XII. 8^{30} V.	21. XII. 8^{45} [2])	22. XII. 8^{45}	23. XII. 9 V.	24. XII. 8^{45}	S.	18. XII. 10 V. [3])	19. XII. 10^{30}	20. XII. 8^{30} V. [2])	21. XII. 8^{45}	22. XII. 8^{45} [4])	23. XII. 9 V.	24. XII. 8^{45}
39	11	**5**	7,5	**17**	19,5	19,5	21,5	52,5	**7**	8,5	**16,5**	16,5	**11**	18	15
78	16	**10**	15	**23**	21	15,5	14,5	78,5	**4,75**	9,25	**15,5**	21	**13**	14,5	11,5
66,5	13	**5**	12,5	**15**	16,5	10,5	13	79,5	**5**	9	**15,5**	19	**11**	12	13
52,5	12	**6,5**	13,5	**20,5**	20	17	18	44,5	**9**	13,5	**17,5**	21,5	**17**	24	26
49,5	6	**0,5**	5,5	**5**	7,5	4,5	3,5	48	**4,5**	7,5	**13**	17	**13**	20	22
46,5	10	**4,5**	11	**16**	20	18	21	79,5	**6,75**	8,75	**10,0**	15,5	**6,5**	7	4
49	10,5	**5,5**	12	**16**	22	18	18	32,5	**3,5**	7,5	**10,5**	15	**12**	16	17,5
31	5,5	**2**	4,5	**7,5**	10	12	11,5	34	**2,5**	6,0	**9**	14	**10**	17	19
								25,5	**2,5**	4,0	**6**	6	**9**	14,5	5,5
	84	39	81,5	120	136,5	115	121		45,5	73	113,5	145,5	102,5	143	133,5
	10,5	**4,9**	10,2	**15**	17,1	14,4	15		**5,1**	8	**12,6**	16,2	**11,4**	16	14,8

Narcissus poëticus.

N.	14. I.	15. I. [5])	16. I.	17. I.	18. I. [5])	19. I.	20. I. [6])	21. I.	S.	14. I. [8])	15. I.	16. I.	17. I. [7])	18. I.	19. I. [8])	20. I.	21. I.
44,5	5,5	**7,5**	3,5	9	**11**	11,25	**8,75**	9	47	**7,5**	10	5,5	**11**	11,5	**8,5**	11,5	**7**
41	6,25	**7**	3,75	8,75	**8,25**	8	**7,25**	7,25	42,5	**7,5**	7	5,25	**10**	11,75	**9,25**	23	**2,5**
34	6,5	**7**	4,5	11,5	**9,5**	9,5	**7,5**	7,5	40,5	**6,5**	9,25	5	**11**	11,5	**10**	12	**8**
	18,25	22	11,75	29,25	28,75	29,25	23,5	23,75		21,5	26,25	15,75	32	34,75	27,75	46,5	35
	6,1	**7,3**	3,9	9,75	**9,6**	9,75	**7,8**	7,92		**7,2**	8,75	5,25	**11**	11,58	**9,25**	15,5	**11,7**

[1]) Säure 1 : 13000. — [2]) Säure 1 : 12000. — [3]) Säure 1 : 10000. — [4]) Säure 1 : 10600. — [5]) Säure 1 : 14000. — [6]) Säure 1 : 12700. — [7]) Säure 1 : 15000. — [8]) Säure 1 : 8700.

XVI. Versammlung

Deutscher Forstmänner

zu Aachen

vom 4. bis 8. September 1887.

Exkursion in den Stadtwald von Eschweiler

zur

Besichtigung der Hüttenrauchs-Beschädigungen

am

Montag den 5. September 1887.

Abfahrt um 2^{30} Uhr vom Rheinischen Bahnhofe.

Das Stolberger Tal (Indetal), 10 km östlich von Aachen belegen, besitzt auf verhältnismäßig geringer Fläche einen Reichtum von industriellen Etablissements, wie wohl kaum ein anderer Ort Deutschlands. Über 200 Essen senden dort täglich den Rauch von 1000000 kg Kohlen in die Atmosphäre. Die Vegetation im Tale selbst sowohl, als auf den einschließenden Höhen stellt sich dem Auge des Beobachters als bald mehr, bald minder in ihrer natürlichen Entwicklung beeinflußt dar, zumeist aber auf denjenigen Höhen, welche in der hierorts vorwaltenden Windrichtung (SW.) von jenen Etablissements belegen sind, speziell im Stadtwalde von Eschweiler und, in geringerem Grade, in dem, dem Eschweiler Bergwerksvereine zugehörigen Probsteywalde. Als Ursache der Vegetationsstörungen sind die den Essen entströmenden sauren Dämpfe anzusehen. Schon der gewöhnliche Kohlenrauch führt den der hiesigen Kohle beigemengten Schwefel als schweflige Säure mit sich. Ganz besonders reiche Quellen der schädlichen Säuredämpfe aber sind die Zink- und Bleihütten von Birkengang und Münsterbusch, mehrere Glashütten und eine Fabrik chemischer Produkte, die Rhenania. Letztere liegt in der Nähe und immerhin noch gefährlichen Windrichtung zu dem Probsteywalde (gegenüber der Eisenbahnstation Stolberg). Sie erzeugt u. a. Soda (kohlensaures Natron) aus Kochsalz (Chlornatrium), welch letzteres zunächst durch Übergießen mit Schwefelsäure in Glaubersalz (schwefelsaures Natron) verwandelt wird, bei welchem Prozesse das Chlor als Chlorwasserstoffgas entweicht, größtenteils aber wieder aufgefangen und kondensiert wird. Der nicht kondensierbare Teil dieses Chlorwasserstoffgases sowie das bei Störungen im Betriebe entweichende wurden seitens des Richters auf Grund eines Gutachtens von Sachverständigen in einem Rauchbeschädigungsprozesse des Eschweiler Bergwerksvereins gegen die Rhenania als die meist beteiligten Urheber der Vegetationsstörungen im Probsteywalde bezeichnet.

Weit umfangreicher und intensiver sind die Rauchbeschädigungen im Stadtwalde von Eschweiler, als deren Haupturheber die Zinkhütte Birken-

gang, welche im Südwesten dieses Waldes und sehr nahe an demselben belegen ist, anzusehen ist.

Das Zink wird daselbst vorzugsweise aus Blende (Schwefelzink) dargestellt. Durch Rösten des Blende-Erzes wird der Schwefel entfernt resp. teils als Schwefelsäure (SO_3) teils als schweflige Säure (SO_2) sämtlich in die Luft gesandt, da keinerlei Vorrichtungen zum Auffangen und Kondensieren der Schwefeldämpfe auf dieser Hütte existieren.

Der Stadtwald von Eschweiler, ca. 400 ha groß, stockt auf produktivem Kohlengebirge, vorzugsweise auf Kohlensandstein von geringer Härte und weichem Schieferton. Der größte Teil des Waldes ist unterminiert. Die Verwitterungsprodukte des Bodengesteins liefern einen durchweg kräftigen, frischen, nachhaltig fruchtbaren, meist tiefgründigen, sandigen Lehmboden. Das Terrain dacht sich sanft von Süden nach Norden ab und besitzt nur am Südostrande einige stärkere Erhebungen, in welchen auch das Bodengestein aus einem harten Konglomerate besteht und der Boden flachgründig, steinig, ziemlich trocken und wenig nahrungsreich ist. Im allgemeinen besitzt der qu. Waldboden alle Faktoren einer großen Fruchtbarkeit. Wesentlich reduziert wird diese jedoch an vielen Einzelstellen durch zahlreiche Kohlenhalden, namentlich im westlichen Teile des Waldes, welcher auch dadurch stellenweise rücksichtlich seiner natürlichen Frische beeinträchtigt wird, daß das Terrain, wahrscheinlich zum Zwecke der Ableitung der Niederschläge von den Bergbauten, mit zahlreichen tiefen Abzugsgräben durchzogen wurde, welche eine eigentliche Sättigung des Bodens mit Wasser nur ausnahmsweise gestatten.

Mit Ausnahme von einigen Nadelholzkulturen der neueren Zeit, vorzugsweise im Nordwesten (Bohlerheide), wurde der Eschweilerer Wald seit langer Zeit als Niederwald in 25jährigem Umtriebe bewirtschaftet, und in demselben Eichen- und etwas Buchen-Oberholz in mäßiger Ausdehnung und in unregelmäßiger Verteilung erzogen, das indessen in den letzten 20 Jahren allmählich größtenteils in den der Hütte näher gelegenen Teilen sämtlich, weil sehr krank oder abgestorben, der Axt gewichen ist.

Das Schlagholz besteht vorzugsweise aus Eiche und Birke in sehr verschiedenartigem Mischungsverhältnisse und mit geringer Beimischung von Buche, Hainbuche, Esche, Ahorn und Erle.

Die Zinkhütte Birkengang wurde Ende der vierziger Jahre gegründet. Bereits im Jahre 1854 traten augenfällige Beschädigungen der Waldvegetation in der nächsten Umgebung der Hütte hervor, über deren Vergütung ein Abkommen zwischen Waldbesitzer und Hütte getroffen wurde. Sie nahmen aber an Intensität und Ausdehnung rasch zu und führten im Jahre 1864 zur ersten Entschädigungsklage des Waldeigentümers gegen die Zinkhütte Birkengang, welche sich in der Folge mehrfach wiederholte.

Zur Zeit haben sich die Rauchbeschädigungen über den ganzen Eschweilerer Stadtwald ausgedehnt, die Produktion desselben auf etwa die Hälfte der normalen reduziert und einen ganz erheblichen Teil total verwüstet. In der näheren Umgebung der Hütte hat alles und jedes vegetabilische Leben vollständig aufgehört, und es ist selbst die Humusdecke des Bodens, sei es durch direkte Einwirkung der Säuren, sei es mittelbar durch Absterben der Pflanzendecke und dadurch erzeugtes Bloßliegen des Bodens, verschwunden, und nur der Rohboden ist zurückgeblieben. In einiger Entfernung von der Hütte Birkengang wird der Boden bloß durch Flechten und Moose bedeckt, noch weiter durch Seggen und Brombeeren. Erst bei ca. 400 m Entfernung finden sich noch spärliche, an der Erde kriechende Überreste der früheren Holzvegetation, welch letztere dann mit wachsender Entfernung von der Hütte geschlossener auftritt und sich allmählich mehr und mehr über den Boden erhebt, bis sie endlich in den der Hütte entgegengesetzten Waldteilen die normale Höhe erreicht und die schädlichen Einflüsse nur mehr an den absterbenden Wipfeln und Zweigen des Oberholzes erkennen läßt. Die Beschädigungszonen, in deren erster 100 % und in deren letzter etwa noch 10 % Zuwachs-Verlust stattfinden mag, haben im ganzen eine eirunde Gestalt, deren Spitze im Nordosten der Hütte sich befindet, entsprechend der Hauptwindrichtung aus Südwesten.

Eine schädliche Wirkung der Säuredämpfe auf die Pflanzen kann natürlich nur bei unmittelbarer Berührung beider erfolgen. Die Dämpfe folgen der Luftströmung, breiten sich über dem Walde aus und erfolgt dabei diese Berührung auf zweifache Weise:

1. Durch atmosphärische Niederschläge, Regen, Tau, Nebel. Indem diese die Gewächse befeuchten und erweichen, erteilen sie ihnen die Fähigkeit, das in den Dämpfen enthaltene saure Gas auf sich zu verdichten und zurückzuhalten, wenn das Wasser wieder verdunstet. Die zurückbleibende Säure geht mit dem Pflanzengewebe eine innige chemische Verbindung ein und zerstört das Blattgrün. Auf diese Weise entstehen weißliche, gelbliche bis gelbbraune Flecken in verschiedenartigster Gestaltung auf den Blättern, die eigentlichen Säureflecken oder Korrosionen. Es versteht sich von selbst, daß derjenige Teil des Blattes, in welchem auf diese Weise das Blattgrün zerstört worden ist, zu funktionieren aufhört, woraus denn eine Beeinträchtigung des durch die Blattfunktionen bedingten Zuwachses resultiert. Der durch die Korrosionen verursachte Schaden kann indessen der Natur der Sache nach nur ein verhältnismäßig geringer sein. Zunächst finden sich dieselben stets nur in den der Hütte näher gelegenen Teilen, in welchen die Rauchwolken noch kompakter auftreten, aber auch dort ist selten der zehnte Teil der Gesamtblattmasse zerstört und noch seltener gleich vom Beginne der Vegetation an, was natürlich von Zufälligkeiten

abhängt. Die Verringerung der Blatttätigkeit wird demnach nicht leicht über 5 % der normalen in ein und derselben Vegetationsperiode hinausgehen, und überdies nur in einer räumlich beschränkten Zone.

2. Die der Luftströmung folgenden sauren Dämpfe senken sich vermöge ihrer spezifischen Schwere allmählich nieder und gehen mehr und mehr auseinander, besonders bei unruhigem und flackerndem Winde; die Dämpfe werden dadurch über einen größern Teil des Waldes verteilt und mit den Pflanzen, auch in Abwesenheit atmosphärischer Niederschläge, in unmittelbare Berührung gebracht, dergestalt, daß letztere vollständig von ersteren eingehüllt werden, in der herrschenden Windrichtung oft während des größern Zeitraumes der Vegetationsperiode. Die Baumpflanze beginnt alsbald zu kränkeln, auch ohne Anätzungen zu zeigen, und zwar in desto stärkerem Grade, je freier sie den Dämpfen gegenübersteht und nicht durch vorstehende andere Bäume teilweise geschützt wird, so namentlich bei allen Unterbrechungen des Kronenschlusses an den jenseits der Lücken (Straßen, Schneisen, Holzschlägen usw.) stehenden Baumkronen. Die über den Gesamtbestand hinausragenden Waldrechter leiden stärker als ersterer, die über das Unterholz sich erhebenden Oberständer mehr als das Schlagholz usw. Das Erkranken der Bäume zeigt sich zunächst an der immer spärlicher werdenden Belaubung, welche überdies oft vor Schluß der natürlichen Vegetationsperiode ihre Funktionen einstellt resp. fleckig wird und vergilbt. Die Blätter werden allmählich kleiner, die Knospen verkümmern und treiben teilweise gar nicht mehr aus, so daß die aus ihnen hervorgehenden Blätter des nächsten Frühjahres nicht mehr in den gewohnten Abständen, sondern nur gruppenweise zusammenstehen. Da der Zuwachs des Holzes in geradem Verhältnisse zu dessen Laubmasse steht, so findet ein der Blattverminderung proportionaler Zuwachsverlust statt. Allmählich folgt das Absterben des Wipfels, dann der oberen und endlich auch der unteren Zweige. Am raschesten und vollständigsten spielen sich diese Vorgänge natürlich ab in den, den Säurequellen in der herrschenden Windrichtung zunächst gelegenen Teilen des Waldes, in welchen auch die Säure-Anätzungen zumeist sich finden. Sie setzen sich aber über die Zone der letzteren weit hinaus fort, wenn auch gradatim abnehmend, und lassen in den weiteren Entfernungen und in den weniger häufigeren Windrichtungen die Einwirkungen der Dämpfe nur mehr an dem auffallend zurückgegangenen Zuwachs, an spärlicher Belaubung und dem Absterben einzelner Wipfel und Zweige erkennen, häufig freilich auch daran, daß das Laub dieser erkrankten Bäume früher als das von gesunden vergilbt resp. die auch beim regulären jährlichen Absterben der Belaubung sich zeigenden Farben-Veränderungen an einzelnen Teilen des Blattes von fahl bis braun erkennen läßt. Es ist dies aber der regelmäßige Vorgang des Absterbens

der Blätter und zeigt sich eben nur frühzeitiger als beim gesunden Laube. Die Flecken und Ränder auf den Blättern sind also von den eigentlichen Korrosionen (Anätzungen) gänzlich verschieden und stimmen mit denjenigen, welche sich beim Absterben des Laubes überall finden, überein. Am empfindlichsten gegen die Wirkung der Dämpfe erweisen sich die jungen Triebe und Blätter, so lange letztere noch hellgrün und weich sind. Sie werden in der Entwicklung gestört und gehen teilweise wieder ein. Die Holzpflanze erzeugt dann während des Sommers neue Triebe, welche zum Teil wieder durch die Dämpfe getötet werden, zum anderen Teile nicht mehr vor Eintritt des Winters verholzen und dann dem Froste erliegen. Die unteren Zweige werden mehr oder weniger durch die oberen geschützt und entwickeln sich noch in reicherer Anzahl. Auf diese Weise erklärt sich das geringere Wachstum nach der Höhe hin, als nach der Breite in den der Hütte näher gelegenen Schlagholzbeständen, die nur mehr verkrüppelte Sträucher aufweisen, welche am Boden nach der der Hütte abgewendeten Seite hinkriechen.

Während nun die unter 1 angeführte Schädigung der Pflanze durch Anätzung resp. Zerstörung des Blattchlorophylls als eine leicht erklärliche aber auch wenig relevante angesehen werden muß, ist über die Art und Weise des Vorsichgehens der unter 2 erörterten, weit erheblicheren Beschädigung zur Zeit noch nichts Ausreichendes bekannt. Der gewissermaßen mechanischen Wirkung der Korrosionen steht hier eine innere Erkrankung des Baumorganismus gegenüber. von Schroeder sucht sie in einer Herabsetzung der Transpiration der Pflanzen. Die Ergründung der Art und Weise der innerlich schädigenden Wirkung der Säuredämpfe dürfte als das eigenste Gebiet der Pflanzenphysiologie anzusehen sein, und es ist bei der Zunahme der Rauchbeschädigungen im Walde für den ausübenden Forstmann, dem die Lösung der Beschädigungsfrage häufig übertragen wird, eine Erklärung gedachter pathologischer Wirkung seitens der Physiologie ein dringendes Bedürfnis geworden, weil in der Praxis nicht selten eine Ausdehnung des Säureschadens nur bis zu derjenigen Grenze als nachgewiesen angenommen wird, bis zu welcher hin Blattbeschädigungen durch Säuren sich vorfinden, trotzdem sich erheblicher Zuwachs-Rückgang, Absterben der Wipfel usw. weit über jene Grenze hinaus noch auffällig machen.

Weit weniger als der Stadtwald von Eschweiler, aber immerhin noch recht erheblich, ist der dem Eschweilerer Bergwerksvereine zugehörige Probsteywald — auf der Nordseite der Köln-Aachener Eisenbahn belegen — vom Hüttenrauche beschädigt. Derselbe ist in den der Hütte näher gelegenen Teilen vorzugsweise mit Baumholz bestockt, und zwar mit Eiche, Buche, Hainbuche, Esche, Erle und Birke.

Hier fällt zunächst auf, daß anscheinend ganz gesunde, kranke und abgestorbene Bäume durcheinanderstehen, eine Erscheinung, die sich allgemein in den stark beschädigten Baumpartien bei allen Hütten wiederholt, in ihren Ursachen aber bis jetzt ebensowenig aufgeklärt ist, als das Erkranken der nicht mit deutlichen Säureflecken versehenen Holzpflanzen. Eine gleichmäßige Beräucherung, oder eine jede andere gleichmäßige Influenz auf viele nebeneinanderstehende Bäume gleicher Holzgattung, gleichen Alters, gleicher Stärke und mit gleichem Wachsraume läßt theoretisch auch eine gleichmäßig schädigende Wirkung auf alle diese Bäume voraussetzen. Da selbige aber tatsächlich nicht gleichmäßig erfolgt, läßt sich nur annehmen, daß eben das eine Baumindividuum größere Widerstandsfähigkeit besitzt, als das danebenstehende andere, wie auch bei einer Epidemie unter Menschen oder Tieren die einen sterben, andere erkranken aber wieder gesunden, und noch andere von der Krankheit verschont bleiben. Diese Erscheinung im Probsteywalde dürfte auch geeignet sein, die Ergebnisse von Versuchen mit einzelnen Pflanzen im Laboratorium rücksichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit gegen saure Dämpfe mit Vorsicht aufzunehmen.

Diese Resistenzfähigkeit ist ferner bei den einzelnen Holzarten eine sehr verschiedenartige, wahrscheinlich aber nicht unter allen Umständen sich gleichbleibende. Vielleicht deshalb rangieren verschiedene Beobachter die einzelnen Holzgattungen rücksichtlich ihrer Empfindlichkeit gegen Säuredämpfe in wesentlich verschiedener Reihenfolge. Stöckhardt hat der Eiche eine weniger große Resistenz zugeschrieben als der Buche, desgleichen eine belgische Kommission, welche mit der Untersuchung von Rauchbeschädigungen betraut war. v. Schroeder will indessen gefunden haben — wenigstens zuletzt — daß die Buche die allerempfindlichste Holzart von allen Laubhölzern sei, und daß erst ganz am Schlusse einer in dieser Beziehung aufgestellten Skala von ca. 20 Laubhölzern die Eiche stehe, während die belgische Kommission die Eiche unter den empfindlichsten Laubholzarten aufzählt und ihr schon den vierten Platz unter ebenfalls ca. 20 Laubhölzern anweist, die Buche aber ihr nachstellt. Im Eschweilerer und Probsteywalde zeigt sich ebenfalls die Eiche empfindlicher als die Buche. Dieser Gegenstand wäre nun nicht von allzu erheblicher Bedeutung, wenn nicht v. Schroeder in seiner 1883 in Gemeinschaft mit dem Oberförster Reuß herausgegebenen Abhandlung „über die Beschädigung der Vegetation durch Rauch“ auf Seite 113 ausdrücklich sagte:

»Das Kriterium der Resistenz kann zuweilen ganz entscheidend sein. Leiden z. B. in einer Gegend die Kiefern mehr als die Fichten, oder die Eichen mehr als die Rotbuchen, so kann man von vornherein an-

nehmen, daß man es entweder gar nicht mit Raucheinflüssen zu tun hat, oder daß doch wesentliche andere schädigende Ursachen in Betracht kommen.«

Er steht also hiermit schon in direktem Widerspruche mit Stöckhardt — wie weiter unten zu ersehen ist — und mit der belgischen Kommission, ja selbst mit seinen eigenen früheren Ausführungen, und mißt doch seiner letztgefundenen Skala vorstehend erwähnte Bedeutung bei. Wird nun ein Forstmann, der bislang keine Gelegenheit hatte, selbst Erfahrungen in dieser Sache zu sammeln, plötzlich genötigt, sich eingehender mit einer Rauchbeschädigungsfrage zu befassen, etwa als gerichtlicher Experte, so wird er wahrscheinlich zu dem v. Schroeder und Reuß'schen Werke greifen, und er könnte dann auf den verhängnisvollen Weg geraten, daß er Säurebeschädigungen ausschlösse, wenn er die Eiche stärker leidend findet als die Buche. Dies aber dürfte er wohl in den meisten Fällen finden, vielleicht überall da, wo nicht etwa der Standort der Eiche sehr und der Buche wenig zusagt.

Bei diesen äußerst divergierenden Ansichten über den Grad des »Leidens« der einzelnen Holzarten unter dem Hüttenrauche erscheint es angezeigt, etwas näher darauf einzugehen, was von den einzelnen unter »Leiden« verstanden wird. v. Schroeder erörtert dies in seinem qu. Werke nicht näher, und es könnte vielleicht vermutet werden, daß von ihm der Grad des Leidens nach dem äußeren Eindrucke, den die verschiedenen Holzarten machen, namentlich nach der Blattfärbung bemessen wird.

Im Eschweilerer Walde waren nun vor ca. 15 Jahren in einem durch Rauch affizierten, größeren, 70jährigen Eichen- und Buchenhorste sämtliche Eichen tot, die dazwischenstehenden Buchen lebten noch, waren aber gelb bis braun in ihrer Belaubung und zwar schon im Sommer. Im Atscher Walde — westlich und nahe der Rhenania — fand sich einige Jahre später ein ganz gleichartiger Eichen- und Buchenhorst in einem minder kranken Zustande. Hier waren schon wieder die Buchen gelb wie im stark beschädigten Horste des Eschweilerer Waldes, die Eichen aber normal grün und anscheinend gesund. Die Buche war also schon bei geringerer Raucheinwirkung im Atscher Walde verfärbt, gerade wie bei der starken im Eschweilerer Walde. Die Eiche aber zeigte bei der weniger starken Einwirkung eine normal grüne Belaubung, bei der stärkeren war sie eingegangen, während die gelbbelaubte Buche noch fortlebte. Bei der Versammlung des Forstvereins für Westfalen und Niederrhein im Juli 1885 wurden den Mitgliedern Zweige von nebeneinander im rauchbeschädigten Walde stehenden Eichen und Buchen vorgezeigt. Das Laub

der Buche war gelb bis braun, das der Eiche normal grün. Die Querschnitte aber ergaben an den gelbbelaubten Buchenzweigen ganz ungleich breitere Zuwachsringe als an den grünbelaubten Eichenzweigen. Auch andere Zweige aus verschiedenen Gegenden des Waldes und in verschiedener Entfernung von der Hütte ergaben, daß das äußere Ansehen, die Farbe des Laubes, im Widerspruche stand mit der im Zuwachse sich offenbarenden Lebenstätigkeit. Es wird also wesentlich darauf ankommen, ob man das Leiden des Baumes nach dem Aussehen der Blätter oder nach seiner vegetativen Tätigkeit bemißt. v. Schroeder hat seinen Begriff des Leidens meines Wissens nirgendwo definiert, auch finden sich in seinem Werke keine Angaben über etwa gefundene Zuwachsverhältnisse an den einzelnen Holzarten in den rauchbeschädigten Waldungen. Dann aber muß seine These über die verschiedenartige Stärke des Leidens der einzelnen Holzarten, namentlich für die hiesigen Boden-Verhältnisse, welche überdies der Buche einen vorzüglichen, der Eiche nur einen mittelmäßigen Standort gewähren, wodurch allein schon die individuelle Resistenzfähigkeit der einzelnen Holzarten ganz erheblich modifiziert wird, als eine mit der größten Vorsicht aufzunehmende bezeichnet werden.

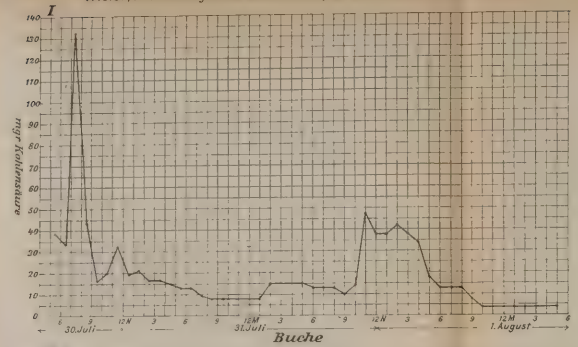
Auch der Umstand, daß das Eichenschlagholz im Eschweilerer Stadtwalde näher an die Hütte herangeht als das der Buche, beweist für den verschiedenen Grad der Resistenzfähigkeit dieser Baumgattungen noch nichts. Denn bei der geringen Beimischung der Buche unter die Eiche in diesem Schlagholze ist zunächst nicht sicher, ja auch nicht einmal wahrscheinlich, daß die Buche überhaupt in den der Hütte zunächst gelegenen Schlägen sich vorfand. Dann aber hat der Buchenstock bekanntlich eine äußerst geringe Reproduktionsfähigkeit, und der einmal gründlich mißhandelte Stock geht ein resp. schlägt nicht wieder aus. Der Eichenstock aber besitzt eine ganz vorzügliche Reproduktionsfähigkeit und treibt stets neue Ausschläge, wenn auch nur zu einem ganz verkrüppelten Strauche. Das ist aber nur eine Eigentümlichkeit der Stockausschläge und läßt keinen Schluß auf die Zuwachsentwicklung und die Lebenszähigkeit in Kernwuchsstämmen zu. Der Zuwachsverlust aber ist es vornehmlich, welcher die Entschädigungsansprüche der Waldeigentümer veranlaßt, und seine Ermittlung eine Hauptaufgabe des Forstmannes. Letzterer wird sich also, wenn es sich um Ermittlung von Rauchbeschädigungen handelt, neben dem Befunde der chemischen Analyse im wesentlichen auf seine eigenen Untersuchungen und Wahrnehmungen stützen müssen, da bis jetzt die Literatur keine umfassenden, in die forstliche Materie ausreichend eingehenden und von Forstleuten als zutreffend anerkannten Ausarbeitungen über diesen Gegenstand aufweist.

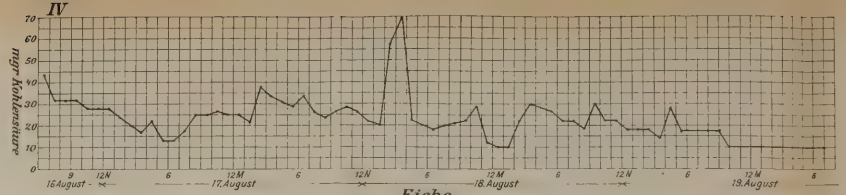
Für den Fall, daß die Stellungnahme des Richters in den zahlreichen Klagen der Waldbesitzer über Rauchbeschädigungen im Stolberger Tale und dessen Umgebung interessieren sollte, sei hier kurz bemerkt, daß seit 20 Jahren alle Entscheidungen aller Instanzen zugunsten der Waldbesitzer und nach Maßgabe der Expertengutachten (welche Säurebeschädigungen durchweg weit über die Zone der Korrosionen hinaus in Rechnung stellten) entschieden wurden.

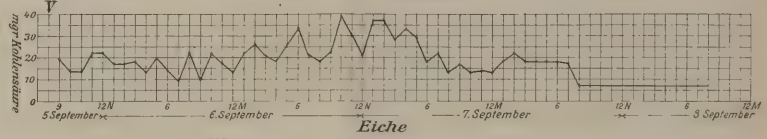
Aachen im August 1887.

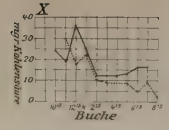
Oster, Oberförster.

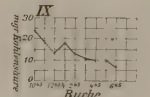
Wieler, Untersuchungen über die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanze.

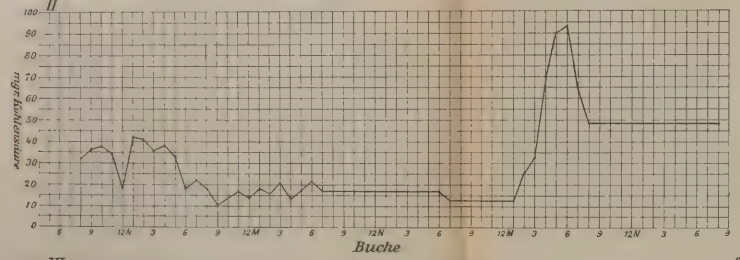


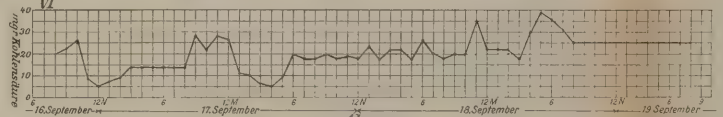


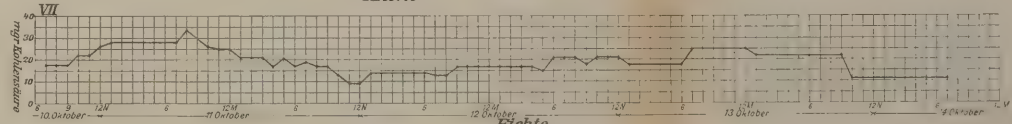


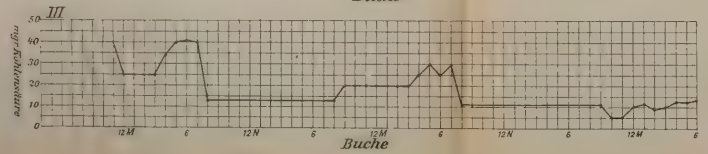


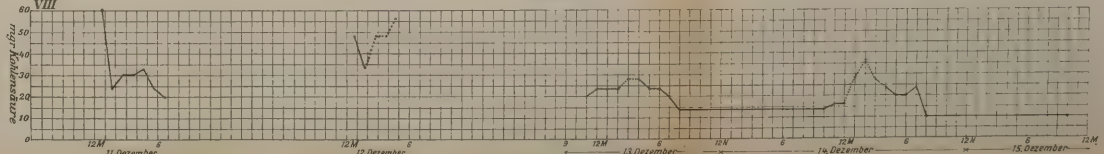












New York Botanical Garden Library
SB745 .W542 1905
Wieler, A./Untersuchungen uber die Einwi
gen
3 5185 00044 6664